

## Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi e Parco Tecnologico

### *Position Paper*

*Con il presente documento la AIN Young Generation (YG) dell'Associazione Italiana Nucleare esprime posizione ufficiale in merito all'iter per la localizzazione e la costruzione del futuro Deposito Nazionale dei rifiuti radioattivi e dell'annesso Parco Tecnologico (DN-PT). La YG raccoglie tutti gli under 40 dell'AIN e annovera tra i suoi associati in Italia e all' Estero, esperti del settore nucleare e di questioni energetiche, professionisti e ricercatori operanti in prestigiose ed importanti Aziende, Università ed Istituti di ricerca.*

*Lo scorso 5 Gennaio 2021, il Governo ha autorizzato la SOGIN S.p.A, la società di Stato che in Italia è proprietaria delle diverse tipologie di impianti nucleari, è preposta al loro smantellamento ed alla gestione dei rifiuti radioattivi ed è responsabile della costruzione e del futuro esercizio del DN-PT, a pubblicare la CNAPI, la proposta di Carta Nazionale delle Aree Potenzialmente Idonee ad ospitare il Deposito Nazionale dei rifiuti radioattivi. La pubblicazione della CNAPI, attesa ormai da diversi anni, è soltanto il primo passo dell'iter per la localizzazione del Deposito Nazionale.*

*Il DN-PT è indispensabile al corretto funzionamento dei molti settori industriali che utilizzano materiali radioattivi; il DN-PT contribuirà alla sicurezza del Paese, attraverso la gestione unificata e standardizzata dei rifiuti radioattivi italiani, il loro stoccaggio e smaltimento presso un unico sito.*

*L'Associazione Italiana Nucleare ed in particolare la sua YG è in prima linea per sensibilizzare ed informare l'opinione pubblica e per fornire supporto tecnico e scientifico a tutti i soggetti coinvolti nel processo decisionale.*

*L'intento di questo documento non vuole essere meramente divulgativo ma mira a fornire una serie di proposte affinché il Deposito Nazionale, ed in particolare il Parco Tecnologico, da risorsa necessaria, diventi anche una straordinaria opportunità di sviluppo economico.*

*Si tratta di un'occasione che, considerando anche la situazione contingente, l'Italia deve cogliere e attraverso questo Position Paper la YG di AIN vuole condividere con l'opinione pubblica le proprie proposte tecniche per valorizzare ulteriormente il processo in itinere.*

L'aspetto sicuramente più evidente e “percepito” del settore nucleare è legato alla produzione di energia elettrica ma le “tecnologie nucleari” ovvero tutte quelle che fanno uso di sorgenti radioattive, sono presenti a tutti i livelli della filiera produttiva e dei servizi<sup>1</sup>. Nell'ambito nucleare, si distinguono specifiche fasi che possono essere macroscopicamente raggruppate nelle seguenti categorie: reperimento delle materie prime specifiche dell'industria nucleare, fabbricazione del combustibile (o delle sorgenti radioattive artificiali per tutti gli altri usi non 'energetici'), produzione elettronucleare (o utilizzo di tecnologie nucleari in altri ambiti), gestione dei rifiuti radioattivi. Ciascuna di queste macro-fasi può a sua volta essere scomposta in una moltitudine di altre attività via via molto specialistiche e la cui descrizione esula dagli scopi di questo documento. È importante sottolineare però che la ricerca teorica e applicata in ambito nucleare si colloca a tutti i livelli e

---

1. <sup>1</sup> <https://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications.aspx>

riveste un ruolo cardine in ciascuna di queste 'fasi'. In un paese industrializzato è possibile che non siano presenti attività economiche collegate direttamente o indirettamente al reperimento delle materie prime nucleari o alla fabbricazione del combustibile e delle sorgenti radioattive (ad uso medico, di ricerca o industriale), è inoltre possibile che nel mix di generazione elettrica non sia prevista la fonte nucleare; la gestione dei rifiuti radioattivi è invece l'unica fase imprescindibile e sempre presente.

Cosa vuol dire gestire i rifiuti radioattivi? Qualsiasi attività umana che preveda l'utilizzo di una risorsa o di specifiche tecnologie implica, ad un certo punto, la produzione di 'scarti' non più utili a quella particolare attività. Noi stessi, ogni giorno della nostra vita, produciamo la nostra dose di rifiuti. Non fa eccezione l'industria nucleare in tutte le sue declinazioni: energia, ricerca, medicina, metrologia, etc.. I rifiuti radioattivi sono costituiti da materiale, solido, liquido o aeriforme, contaminato da sostanze radioattive distribuite nella massa del rifiuto<sup>2</sup>.

Per meglio comprendere cosa vuol dire gestire i rifiuti radioattivi è necessario innanzitutto chiarire un aspetto fondamentale: i quantitativi in gioco e il fatto che essi non sono più o meno 'pericolosi' di tante altre sostanze indesiderate che quotidianamente una società industrializzata si trova a dover gestire. Consideriamo quindi due categorie di rifiuti con cui abbiamo a che fare ogni giorno, i rifiuti solidi urbani (RSU) e i cosiddetti rifiuti speciali (RS, suddivisi in rifiuti pericolosi<sup>3</sup> e non pericolosi). I rifiuti urbani prodotti annualmente in Italia (dati del 2019) ammontano a circa 30 milioni di tonnellate di cui il 21% (dati del 2019<sup>4</sup>), pari a circa 6,3 milioni di tonnellate, è destinato allo smaltimento, ossia finisce in modo irreversibile in discarica. Ben più grande è la produzione nazionale annua di rifiuti speciali che in base agli ultimi dati<sup>5</sup> ha raggiunto 143,5 milioni di tonnellate. Di questi, il quantitativo di rifiuti speciali pericolosi prodotto supera 10 milioni di tonnellate.

I rifiuti radioattivi rientrano in una categoria a parte e non sono considerati come rifiuti speciali: essi sono censiti in un apposito inventario nazionale, disponibile al pubblico<sup>6</sup>. Ad oggi, oltre ai rifiuti radioattivi pregressi e a quelli derivanti dal decommissioning delle centrali nucleari, dei laboratori di ricerca e del ciclo del combustibile, in Italia sono presenti i rifiuti radioattivi prodotti dalle attività di medicina e diagnostica, dall'industria, dalla ricerca e da altri settori. Complessivamente, i rifiuti radioattivi prodotti in Italia nei passati decenni e quelli futuri (prossimi 50 anni) ammonteranno a *“circa 78000 m<sup>3</sup> (categorie bassa attività e ad attività molto bassa), di questi, circa 50000 m<sup>3</sup> derivano dall’esercizio e dallo smantellamento degli impianti nucleari per la produzione di energia elettrica, circa 28.000 m<sup>3</sup> dagli impianti nucleari di ricerca e dai settori della medicina nucleare e dell’industria. Sul totale di circa 78000 m<sup>3</sup>, 33000 m<sup>3</sup> di rifiuti sono già stati prodotti, mentre i restanti 45000 m<sup>3</sup> verranno prodotti in futuro”*<sup>7</sup>. E' necessario precisare che questi volumi

2 <https://www.enea.it/it/seguici/le-parole-dellenergia/fissione-nucleare/i-rifiuti-radioattivi-1> , La definizione di rifiuti radioattivi trova riscontro nell'articolo 4, punto 3, lettera i, del decreto legislativo n. 230 del 17 marzo 1995 e s.m.i. “Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 2006/117/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti, 2009/71/Euratom in materia di sicurezza nucleare degli impianti nucleari e 2011/70/Euratom in materia di gestione sicura del combustibile esaurito e dei rifiuti radioattivi derivanti da attività civili: “...qualsiasi materia radioattiva in forma gassosa, liquida o solida, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, per la quale nessun riciclo o utilizzo ulteriore è previsto o preso in considerazione dall'autorità di regolamentazione competente o da una persona giuridica o fisica la cui decisione sia accettata dall'autorità di regolamentazione competente e che sia regolamentata come rifiuto radioattivo dall'autorità di regolamentazione competente”

3 Sono pericolosi ai sensi della decisione 2000/532/CE e del D.Lgs 152/06 (per i dettagli si veda i rifiuti che presentano una o più delle seguenti caratteristiche di pericolosità: H1 "Esplosivo", H2 "Comburente", H3-A "Facilmente infiammabile", H3-B "Infiammabile", H4 "Irritante", H7 "Cancerogeno", H8 "Corrosivo", H9 "Infettivo", H10 "Tossico per la riproduzione", H11 "Mutageno", H12 Rifiuti che, a contatto con l'acqua, l'aria o un acido, sprigionano un gas tossico o molto tossico; H13 "Sensibilizzanti", H14 "Eco-tossico", H15 Rifiuti suscettibili, dopo eliminazione, di dare origine in qualche modo ad un'altra sostanza, ad esempio ad un prodotto di lisciviazione avente una delle caratteristiche sopra elencate. Per i dettagli si veda l'allegato I della parte IV del Decreto.

4 <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2020>

5 <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-speciali-edizione-2020> ; in questo rapporto sono inoltre elencate le tipologie di rifiuti speciali, sia pericolosi che non pericolosi, la provenienza, le modalità e le fasi di trattamento.

6 <https://www.isinucleare.it/it/notizie/rifiuti-radioattivi-online-nuovo-inventario-nazionale-isin>

7 Fonte: <https://www.depositonazionale.it/deposito-nazionale/pagine/quali-rifiuti-conterra.aspx>

si riferiscono a rifiuti radioattivi 'immobilizzati' e 'condizionati' e includono pertanto il volume occupato dalle 'barriere ingegneristiche' (in questo caso sostanze immobilizzanti e contenitori). Il quantitativo da smaltire nei prossimi 50 anni (secondo i piani attuali), ossia i 78000 m<sup>3</sup> sopramenzionati, corrisponde grosso modo ad una massa di 200000 t (la cifra può variare in questo intorno per via di diversi fattori tra cui, il livello massimo di compattazione raggiungibile da alcuni materiali, disponibilità di nuove tecnologie di immobilizzazione, modifiche al quadro normativo etc.). Non sono considerati in questo calcolo gli esigui quantitativi di rifiuti radioattivi a media e alta attività<sup>8</sup> (circa 17000 m<sup>3</sup>), che non saranno smaltiti nel Deposito Nazionale ma solo temporaneamente stoccati.

Si tratta evidentemente di quantità irrisorie se paragonate con i quantitativi di rifiuti urbani e i rifiuti speciali prodotti annualmente in Italia. Consideriamo, sempre a titolo esemplificativo, il caso dei rifiuti speciali (pericolosi e non pericolosi): anche se il recupero di materia è la forma di gestione predominante, che si attesta stabilmente oltre il 67%, qualcosa come 12 milioni di tonnellate di rifiuti speciali (pari a 8% del totale gestito), ogni anno, vengono smaltiti in discarica dei quali almeno 1,2 milioni di tonnellate sono rifiuti speciali pericolosi<sup>9</sup>. Tra questi ci sono i rifiuti contenenti amianto. L'amianto è probabilmente il rifiuto pericoloso di cui più si sente parlare, in particolare per i dannosi effetti sulla salute umana, eppure esso è un 'prodotto' naturale che l'uomo si è limitato ad estrarre dalla terra e ad utilizzare. L'Italia, infatti, è stata fino agli anni '90 tra i maggiori produttori mondiali di amianto. Dal dopoguerra sono state prodotte circa 3,8 milioni di tonnellate ed importate circa 1,9 milioni di tonnellate di amianto grezzo<sup>10</sup>, utilizzate per la produzione di molte tipologie di manufatti o impiegati come isolanti in moltissimi settori civili ed industriali. L'amianto ha un'eccezionale stabilità chimica e i minerali che lo costituiscono conservano le loro proprietà per un tempo indefinito. Diversamente, i radionuclidi che si trovano in un rifiuto radioattivo, inevitabilmente, dopo un tempo più o meno lungo scompaiono (decadimento radioattivo). L'amianto non può essere 'distrutto', può solo essere immobilizzato (si impedisce cioè che particelle e fibre si possano staccare dal manufatto e disperdere nell'ambiente) ed 'impacchettato' (ossia isolato dalla biosfera) in modo opportuno per essere inviato alla apposita discarica<sup>11</sup>. Per quanto non completamente 'risolutiva' questa procedura garantisce la salute dei cittadini e la protezione dell'ambiente e molto difficilmente se ne potrebbe contestare l'efficacia o la necessità. In generale, tutte le attività di gestione dei rifiuti (siano essi urbani o speciali) sono rigorosamente regolate da legislazioni nazionali e Comunitarie, incluso lo smaltimento, che avviene con i più alti standard di sicurezza che la tecnologia mette oggi a disposizione. Per quanto regolamentata e sicura la gestione dei rifiuti urbani e speciali (pericolosi e non pericolosi) non arriva ad eguagliare, in termini di sicurezza, tecnologia, affidabilità dei protocolli e struttura normativa, quella dei rifiuti radioattivi.

Eppure nell'opinione pubblica continuano a persistere, irragionevolmente, diffidenza, paura e ostilità per tutto ciò che concerne la gestione dei rifiuti radioattivi, come anche i dubbi circa la localizzazione del Deposito Nazionale unico, che non è una 'discarica' bensì un'installazione nucleare ad alta tecnologia, sicura e altamente regolamentata.

A livello nazionale, il numero totale delle discariche operative per RS e RSU era pari a 310 (dati

---

8 Una minima parte di questi ultimi, circa 400 m<sup>3</sup>, è costituita dai residui del riprocessamento del combustibile effettuato all'estero e dal combustibile non riprocessabile (fonte: <https://www.depositonazionale.it/deposito-nazionale/pagine/quali-rifiuti-conterra.aspx>) per chiarimenti in merito ai rifiuti radioattivi a media e alta attività e il loro stoccaggio, si vedano le pagine successive del presente documento.

9 Valori mediati da quelli ricavati dai Rapporti ISPRA 2019 e 2020, fonte: si veda precedente nota 5.

10 Fonte INAIL, numeri tratti dal Rapporto *Mappatura delle discariche che accettano in Italia rifiuti contenenti amianto e loro capacità di smaltimento passate, presenti e future*, 2013, scaricabile dal sito: <https://www.inail.it/cs/internet/comunicazione/pubblicazioni/catalogo-generale/mappatura-discariche-che-accettano-italia-rifiuti-contenenti.html>

11 Al momento si hanno solo delle stime del quantitativo di amianto non ancora messo in sicurezza in Italia, si parla di decine di milioni di metri quadrati (mediamente 15 kg/m<sup>2</sup>) per le sole coperture di svariate centinaia di migliaia di edifici, per non parlare dell'amianto presente in altri contesti e difficilmente censibile. Si veda in proposito: <https://www.legambiente.it/rapporti/liberi-dallamianto/>, da questo sito web è possibile scaricare il rapporto 2018 con le stime.

2018)<sup>12</sup>, di cui 11 discariche sono specifiche per rifiuti pericolosi. Si tratta di siti di dimensioni notevoli, la cui capacità massima di smaltimento (in volume) non sempre è definita a priori ma spesso è nell'ordine dei milioni di metri cubi. A queste si aggiungono migliaia di impianti, diffusi su tutto il territorio nazionale, legati alla gestione (recupero, stoccaggio, trattamento, incenerimento etc.) sia dei RSU che degli RS. Questa filiera vasta e complessa, che ogni anno gestisce milioni di tonnellate di materiali pericolosi, su tutto il territorio nazionale, svolge indiscutibilmente un ruolo cruciale per il corretto funzionamento del paese, la protezione e la salute dei cittadini e per la salvaguardia dell' ambiente.

La gestione dei rifiuti radioattivi, che persegue gli stessi obiettivi, opera su quantitativi limitati (inferiori di molti ordini di grandezza se paragonati a quelli di RS e RSU) con tecnologie e metodi allo stato dell'arte e trova la sua 'chiusura' in un'unica struttura centralizzata a livello nazionale, di dimensioni definite, sicura e altamente regolamentata.

E' dunque evidente che la diffidenza e l'opposizione alla realizzazione del Deposito nazionale dei rifiuti radioattivi è innanzitutto un problema di errata percezione da parte dell' opinione pubblica. Le pagine che seguono serviranno a fornire gli strumenti utili a comprendere che il deposito nazionale non solo è indispensabile al Paese ma può essere anche un'eccezionale volano di sviluppo economico.

Così come noi cerchiamo di separare la nostra spazzatura quotidiana allo scopo di riciclare il più possibile i prodotti di scarto e ridurre il quantitativo di quelli non riciclabili da conferire a discarica (smaltimento), così anche nell'ambito nucleare si procede a separare i prodotti di scarto, 'ripulendo' (decontaminando) e riciclando la maggior parte di essi e 'trattando' le modeste quantità rimanenti che non si riesce a decontaminare.

Per trattamento si intende un qualsiasi processo fisico-chimico (e logistico) che isoli il rifiuto radioattivo dall'ambiente circostante impedendone la dispersione sotto qualsiasi forma, ciò al fine di limitare o di azzerare le dosi di radiazione agli operatori e all'ambiente. Durante o dopo il trattamento, che nella maggioranza dei casi corrisponde ad una 'immobilizzazione', eventualmente associata ad una riduzione di volume, i rifiuti radioattivi vengono ulteriormente protetti da idonee barriere ingegneristiche (contenitori ed edifici) e costantemente monitorati. L'inserimento del rifiuto trattato all'interno del contenitore col quale sarà smaltito, ovvero inviato al Deposito, è detta operazione di 'condizionamento'. Un aspetto essenziale della gestione dei rifiuti radioattivi, in tutte le sue fasi, è la caratterizzazione, che consiste in una serie di analisi che definiscono le proprietà chimiche, fisiche e radiologiche del rifiuto. I risultati della caratterizzazione consentono di scegliere il tipo di trattamento e il condizionamento per ciascuna tipologia di rifiuto radioattivo. La caratterizzazione, come le altre operazioni descritte, è necessaria per qualsiasi rifiuto radioattivo, dal combustibile irraggiato di una centrale nucleare al comune materiale di consumo di un ambulatorio radiografico. La caratterizzazione finale del rifiuto condizionato ne definisce anche le modalità di smaltimento. I rifiuti radioattivi sono sostanzialmente riconducibili a quattro categorie principali<sup>13,14</sup>: bassissima attività (VLLW, Very Low Level Waste) e bassa attività (LLW – Low Level Waste), da smaltire in strutture di superficie, media attività (Intermediate Level Waste) e alta attività (High Level Waste) da smaltire in strutture sotterranee (alcune centinaia di metri per la categoria ILW e in depositi profondi per gli HLW – *geological disposal*)<sup>15</sup>. Per le categorie VLLW e LLW è prevista la recuperabilità del manufatto; la stessa cosa è prevista in linea teorica anche per la categoria ILW.

La radioattività diminuisce nel tempo, per cui l'isolamento a cui vengono sottoposte determinate

---

12 Dati tratti dal Rapporto Rifiuti Speciali ISPRA Edizione 2020, di cui alla precedente nota 5, delle 150 discariche specifiche per gli RS non pericolosi, 91 sono state utilizzate per lo smaltimento anche dei rifiuti urbani.

13 [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1419\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1419_web.pdf)

14 Approfondimenti sulla natura e l'origine dei rifiuti radioattivi, la loro gestione, i volumi prodotti e le modalità di smaltimento, inclusa la lista dei maggiori depositi attualmente in esercizio nei vari paesi, sono disponibili al seguente link: <https://world-nuclear.org/information-library/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Radioactive-Waste-Management.aspx>

15 <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/storage-and-disposal-of-radioactive-wastes.aspx>

categorie di rifiuti radioattivi può essere interrotto dopo un certo periodo (variabile da alcuni anni fino ad alcuni secoli) al termine del quale il rifiuto ha “perso” la sua radioattività, è diventato innocuo e in molti casi riciclabile (si pensi, ad esempio, ad un componente metallico). Ci sono tuttavia casi in cui nel rifiuto sono presenti radionuclidi a lunga vita che richiedono migliaia di anni affinché la loro attività si riduca significativamente, oppure rifiuti che, proprio in virtù del decadimento dei radionuclidi in essi presenti, generano calore o ancora rifiuti nei quali alcuni dei radionuclidi in essi contenuti, oltre ad avere tempi di decadimento medio-lunghi, risultano anche essere chimicamente tossici. Per tutti questi casi esistono soluzioni definitive, alcune allo stato dell'arte, altre in fase di sperimentazione, altre ancora applicabili nel prossimo futuro quando entreranno in servizio i reattori della cosiddetta quarta generazione (Gen IV). Talune di queste soluzioni, anche se provate ed efficaci, non vengono oggi applicate semplicemente perché risultano economicamente non convenienti rispetto agli esigui quantitativi da gestire. È il caso, ad esempio, dei depositi geologici per i quali sono stati identificati diversi siti idonei in diversi paesi<sup>16</sup>. La scelta di finanziare la costruzione di un deposito geologico è sostanzialmente politica e dipende essenzialmente dai quantitativi di HLW prodotti, dalla scelta o meno di riprocessare il combustibile nucleare, dalla disponibilità di spazio sul proprio territorio ove stoccare temporaneamente gli HLW, da questioni geopolitiche.

Il primo passo nella gestione di questi rifiuti radioattivi a più alta attività, che rappresentano solo una modesta parte dell'ammontare complessivo mediamente prodotto<sup>17</sup>, è il loro trattamento preliminare e il loro stoccaggio in idonee condizioni e strutture.

La gestione dei rifiuti radioattivi comprende tutte le fasi logistiche intermedie di raccolta, immagazzinamento temporaneo e trasporto, tutte rigorosamente regolamentate ed eseguite con mezzi e procedure dedicati e con tecnologie consolidate.

Il deposito centralizzato dei rifiuti radioattivi è quindi un impianto con caratteristiche nucleari a tutti gli effetti dove si realizzano o si concludono gran parte delle attività sopra descritte ed è parte indispensabile di quella vasta e complessa catena logistica che è la gestione dei rifiuti radioattivi.

Anche nel caso dell'Italia, ove la fase di produzione di energia da fonte nucleare non è presente, una struttura di deposito centralizzata è necessaria per stoccare e smaltire in sicurezza i rifiuti radioattivi. Essi, provenienti da svariate fonti, continueranno ad essere prodotti anche in futuro; il DN-PT consentirà di gestirli presso un' unica struttura e in maniera predefinita assieme ai rifiuti radioattivi pregressi e a quelli derivanti dallo smantellamento di impianti non più operativi, appartenenti sia al ciclo energetico nucleare che ad altri settori (decommissioning di laboratori, attrezzature contenenti sorgenti radioattive etc.).

Il Deposito Nazionale dei rifiuti radioattivi che verrà realizzato in Italia non è di per sé un impianto “speciale” o “atipico”; si tratta, anzi, di un tipo di installazione nucleare diffuso in tutto il mondo<sup>18</sup>, operante con tecnologie allo stato dell'arte, con procedure standardizzate definite da vincolanti criteri di sicurezza. I depositi finora in esercizio, in costruzione o pianificati nel mondo sono in genere strutture di superficie (in gergo '*near surface*') in quanto destinati allo smaltimento dei rifiuti a bassa attività (VLLW e LLW), che di norma costituiscono il volume maggiore dei rifiuti radioattivi prodotti (per usi energetici o per altri settori) e che non richiedono barriere naturali geologiche per il loro isolamento. Le barriere “ingegneristiche” (contenitori metallici o in materiale composito, calcestruzzo, composti immobilizzanti ed il semplice terreno), implementate in questi depositi, sono più che sufficienti ad isolare tali materiali dalla biosfera per il periodo di tempo necessario al decadimento dei radionuclidi in essi presenti, trascorso il quale i rifiuti non più radioattivi possono essere recuperati, smaltiti o riciclati come materiali convenzionali, secondo le classificazioni e le norme vigenti. La maggior parte dei suddetti Depositi centralizzati sono inoltre attrezzati per lo stoccaggio temporaneo, (il cosiddetto '*interim storage*') di rifiuti radioattivi di

---

16 <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-waste/storage-and-disposal-of-radioactive-waste.aspx>

17 Si veda a tal proposito la nota di approfondimento in Appendice

18 Per un elenco dei depositi attualmente in esercizio si vedano i link alle precedenti note 14 e 15.

media (ILW) e alta (HLW) attività.

Il futuro Deposito Nazionale, non sarà molto diverso da analoghe strutture *near surface* già in esercizio in molti paesi del mondo e destinate prevalentemente allo smaltimento definitivo di rifiuti radioattivi a bassa attività (categoria LLW). Esso includerà, al pari di decine di altre installazioni simili, anche idonee strutture per lo stoccaggio in sicurezza per i rifiuti radioattivi che rientrano nelle categorie di media attività (ILW) e alta attività (HLW). Tutti i dettagli sul Deposito Nazionale sono reperibili nel sito istituzionale [www.depositonazionale.it](http://www.depositonazionale.it).

Praticamente ogni nazione industrializzata possiede almeno un deposito centralizzato<sup>15</sup>.

Il Deposito Italiano avrà però una caratteristica che lo renderà diverso dai suoi omologhi europei: esso sarà integrato da un Parco Tecnologico che, come riporta il sito ufficiale ([www.depositonazionale.it](http://www.depositonazionale.it)) *“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.”*

La YG di AIN concorda con quanto stabilito dal Legislatore in merito al Deposito Nazionale e con la decisione di affiancarvi un Parco Tecnologico ritenendole entrambe scelte non solo necessarie ma anche strategiche per il bene del Paese e dei territori che li ospiteranno. In particolare, riteniamo che il Parco Tecnologico, per le sue stesse caratteristiche possa rappresentare un eccezionale volano di sviluppo, per questo la YG di AIN intende fornire le seguenti proposte per rendere il Parco Tecnologico davvero una risorsa che possa concentrare e far crescere le già ampie competenze italiane in materia nucleare.

Il nuovo Parco Tecnologico dovrebbe essere dotato di un Centro Interuniversitario di Ricerca e di Alta Formazione: questo polo d'eccellenza permetterebbe a tutte le università e gli enti di ricerca e formazione di condividere le proprie competenze al fine di approfondire tematiche coerenti con lo scopo del Parco Tecnologico<sup>19</sup> e delle nuove strategie europee sull'energia<sup>20</sup> e le politiche ambientali<sup>21</sup>. Il nuovo Centro Interuniversitario permetterebbe quindi di sviluppare una forte sinergia tra il mondo della ricerca e dell'alta formazione da un lato ed il mondo produttivo, industriale e sanitario dall'altro, con approfondimenti di tematiche varie legate alla medicina, all'ingegneria ed alle scienze applicate. Il nuovo Centro Interuniversitario all'interno del Parco Tecnologico è previsto che sia dotato di avanzati laboratori attrezzati per la ricerca nei diversi ambiti e di tutte le facility di supporto necessarie: si potranno quindi formare sul campo gli studenti che devono conseguire la laurea magistrale, così come i ricercatori che devono ottenere il dottorato di ricerca o che devono approfondire ulteriormente le loro attività successivamente al conseguimento del dottorato stesso.

Il Centro Interuniversitario promuoverà la ricerca di base e quella applicata in nuovi settori e in aree consolidate, contribuendo a limitare il fenomeno dell'emigrazione dei nostri talenti, così spesso lamentata e richiamata, con forza, nello stesso Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) predisposto dal Governo ed inviato alla Commissione Europea a fine Aprile del corrente anno, per esame.

La YG ha inoltre individuato diverse tematiche di ricerca attuali ed innovative che potrebbero essere implementate nel Parco Tecnologico:

---

<sup>19</sup> DECRETO LEGISLATIVO 15 febbraio 2010, n. 31 *“Disciplina dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché benefici economici”*, a norma dell'articolo 25 della legge 23 luglio 2009, n. 99, convertito al decreto-legge 31 dicembre 2014, n. 192 convertito dalla legge 27 febbraio 2015, n. 11.

<sup>20</sup> <https://world-nuclear-news.org/Articles/EU-Taxonomy-can-move-forward-with-nuclear-JRC-find> ; il rapporto redatto dal JRC è invece scaricabile al link: [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business\\_economy\\_euro/banking\\_and\\_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/business_economy_euro/banking_and_finance/documents/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf)

<sup>21</sup> [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_it](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it)

- Impiego del laser per la trasmutazione di rifiuti radioattivi e produzione di radioisotopi medicali
- Vettori energetici alternativi
- Sviluppo di tecnologie a supporto di reattori nucleari avanzati (inclusi gli Small Modular Reactor) e della relativa componentistica.

Si tratta di tematiche di ricerca in linea con la normativa vigente per il Parco Tecnologico (D.Lgs 31/2010, Art.25) e soprattutto compatibili con le strategie di medio lungo termine della UE, quali la decarbonizzazione del sistema elettrico entro il 2050.

Il primo caso riguarda un'attività di ricerca all'avanguardia a supporto sia della gestione dei rifiuti radioattivi ma con interessanti ricadute anche in ambito medicale, ossia l'utilizzo di laser rispettivamente per la trasmutazione di rifiuti radioattivi<sup>22</sup> (in particolare ILW e HLW) e per la produzione di radioisotopi medicali<sup>23</sup>. Di seguito i due argomenti verranno descritti separatamente per evidenziare come la tecnologia del laser può contribuire alle due attività proposte.

### *Gestione dei rifiuti radioattivi*

Un atomo radioattivo ("radioisotopo", o anche "radionuclide") è caratterizzato da un nucleo instabile, che in un tempo più o meno lungo decade in un nucleo stabile, liberando energia denominata radiazione ionizzante. In termini tecnici, questo processo di trasformazione del nucleo è chiamato *trasmutazione*. In particolare, il numero di particelle che compone il nucleo (protoni e neutroni) o la loro configurazione energetica cambia. Questo processo avviene naturalmente, tuttavia negli ultimi 30 anni è aumentato l'interesse su come realizzare una *trasmutazione "artificiale"*, al fine di trasformare un elemento radioattivo in un altro, o "innocuo" sotto il profilo radiologico, ovvero "utile" per determinate applicazioni. Diverse attività di ricerca sono in corso nel Regno Unito, in Belgio, Germania, Giappone, Stati Uniti, etc. Il punto cruciale è soprattutto poter trasmutare rifiuti radioattivi ad alta attività e a lunga vita (ovvero quelli che ricadono nella categoria HLW e alcuni della categoria ILW), in rifiuti innocui o, per lo meno, meno radioattivi, tali da poter essere smaltiti in un deposito superficiale anziché, ad esempio, in un deposito geologico. Queste attività di ricerca richiedono studi avanzati su tecnologie legate alla separazione dei radionuclidi ed alla loro trasmutazione mediante l'utilizzo di strumenti sofisticati come i laser. L'utilizzo del laser per trattare i rifiuti radioattivi si presenta come una via efficiente e relativamente a basso costo. La presenza di un laboratorio, all'interno del Parco Tecnologico, dedicato all'attività di ricerca sperimentale sulla trasmutazione di rifiuti ad alta attività e a lunga vita tramite tecniche laser, oltre a costituire un campo di studi all'avanguardia, sarebbe anche funzionale alle attività del Deposito Nazionale predisposto anche per l'*interim storage* degli ILW e HLW.

### *Produzione di radioisotopi medicali - Applicazione di radioisotopi in ambito medico*

Le tecnologie nucleari sono ampiamente utilizzate anche in campo medico, dove trovano applicazione sia a fini diagnostici che terapeutici. Le apparecchiature radiologiche utilizzano i raggi X per ottenere immagini anatomiche del paziente e sono impiegate in radiodiagnostica e nelle

22 L'argomento può essere approfondito consultando i seguenti articoli scientifici:

C. Hirlimann, "Laser induced nuclear waste transmutation," IPCMS Unistra - CNRS UMR, Strasbourg, 2016.

Scaricabile all'indirizzo: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01294052/document>

T. Hayakawa, S. Miyamoto, R. Hajima, T. Shizuma, S. Amano, S. Hashimoto and T. Misawa, "Proposal for selective isotope transmutation of long-lived fission products using quasi-monochromatic  $\gamma$ -ray beams," *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol. 53, no. 12, pp. 2064-2071, 2016.

Scaricabile all'indirizzo: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00223131.2016.1194776>

H. ur Rehman, J. Lee and Y. Kim, "Optimization of the laser-Compton scattering spectrum for the transmutation of high-toxicity and long-living nuclear waste," *Annals of Nuclear Energy*, vol. 105, pp. 150-160, 2017.

Scaricabile all'indirizzo:

[https://www.researchgate.net/publication/321658043\\_A\\_Feasibility\\_Study\\_on\\_the\\_Transmutation\\_of\\_100\\_Mo\\_to\\_99m\\_Tc\\_with\\_Laser-Compton\\_Scattering\\_Photons](https://www.researchgate.net/publication/321658043_A_Feasibility_Study_on_the_Transmutation_of_100_Mo_to_99m_Tc_with_Laser-Compton_Scattering_Photons)

23 L'argomento può essere approfondito consultando i seguenti articoli scientifici:

V. Y. Bychenkov, A. V. Brantov and G. Morou, "Tc-99m production with ultrashort intense laser pulses," *Laser and Particle Beams*, vol. 32, pp. 605-611, 2014

Scaricabile all'indirizzo: [https://www.researchgate.net/publication/285725348\\_Tc-99m\\_production\\_with\\_ultrashort\\_intense\\_laser\\_pulses](https://www.researchgate.net/publication/285725348_Tc-99m_production_with_ultrashort_intense_laser_pulses)

pratiche interventistiche (chirurgia cardiovascolare, neurochirurgia, chirurgia ortopedica). In medicina nucleare è possibile trattare i tumori tramite l'utilizzo di radiofarmaci o sfruttare tecniche diagnostiche come le tomografie e/o la PET. I radioisotopi utilizzati in campo medico sono prodotti in genere artificialmente con varie tecniche, principalmente utilizzando reattori nucleari dedicati (che svolgono la funzione di generatori di flussi di particelle finalizzate alla interazione con specifici isotopi) o acceleratori di particelle<sup>24</sup>. In questo contesto vorremmo focalizzare l'attenzione sulla produzione di radioisotopi utilizzati in ambito medico come traccianti radioattivi. Uno dei radionuclidi maggiormente utilizzati in questo campo è il Tecnezio-99 metastabile (Tc-99m), impiegato in medicina nucleare diagnostica per la marcatura dei radiofarmaci. Il Tc-99m emette radiazioni gamma con energia di 140 keV ed ha un tempo di dimezzamento di circa 6 ore, compatibile con la durata degli esami diagnostici ma comunque abbastanza breve da consentire una limitata irradiazione del paziente. Il Tc-99m è il prodotto del decadimento di un altro radionuclide, il Molibdeno-99 (Mo-99). Il Tc-99m viene prodotto direttamente presso le strutture sanitarie tramite un 'generatore' Mo-99 - Tc-99m ossia uno strumento utilizzato per separare il Tc-99m da una sorgente di Mo-99. Il Mo-99 possiede un'emivita di 66 ore e può essere facilmente trasportato su lunghe distanze verso gli ospedali dove il suo prodotto di decadimento Tc-99m (caratterizzato da un'emivita di sole 6 ore e quindi scomodo per il trasporto) verrà poi utilizzato. Il Mo-99 viene prodotto in appositi reattori nucleari per cui la produzione risulta accentrata in pochi siti specializzati rispondenti a requisiti autorizzativi e di sicurezza di rilevanza nucleare. Negli ultimi anni alcuni importanti laboratori che producevano il Mo-99, come il National Research Universal Reactor canadese, sono stati chiusi, e ciò ha spinto la comunità scientifica ad investigare strategie alternative di produzione del Tc-99m, più economiche, per far fronte a possibili carenze future<sup>25</sup>. Tecnologie alternative per la produzione di Tc-99m che risultino economicamente meno onerose e possano decentrarne la produzione sono in fase di studio in alcuni Paesi come Regno Unito, Stati Uniti, Cina e Giappone. Tra queste, una delle soluzioni più promettenti è rappresentata dall'utilizzo di laser. Attività sperimentali sono attualmente in studio e seppur ad uno stadio iniziale, prospettano buoni risultati e possibilità applicative nel prossimo futuro.

L'utilizzo del laser per produzione di radioisotopi, con particolare riferimento al Tc-99m, risulta quindi un'attività di ricerca sperimentale all'avanguardia e ottimale per il Parco Tecnologico. Tale attività potrebbe affiancarsi a quella di utilizzo del laser per la trasmutazione di rifiuti radioattivi, creando un Polo all'avanguardia per le tecnologie laser in ambito nucleare.

### *Vettori energetici alternativi*

Tra le tematiche più importanti da sviluppare anche nell'ambito delle più avanzate collaborazioni internazionali<sup>26</sup> ci sarà la produzione e l'uso di sostanze alternative ai combustibili fossili, con minore o nullo effetto climalterante, fra tutti l'idrogeno. È infatti ben noto che l'idrogeno non è una fonte energetica, bensì è un vettore energetico: esso permette di stoccare e "trasportare" energia, ma non è una fonte energetica 'primaria'. L'idrogeno praticamente non esiste libero in natura e per utilizzarlo, ad esempio come combustibile alternativo, è necessario poterlo produrre in grandi quantità partendo da altri composti abbondanti nell'ambiente (e.g. acqua o idrocarburi). I processi di produzione industriale dell'idrogeno sono però particolarmente energivori, in termini di elettricità e di calore. L'idrogeno può essere convertito in energia elettrica (per esempio nelle celle a combustibile, utilizzate ad esempio come batterie dei veicoli spaziali) o bruciato come combustibile in macchine endotermiche non emettendo inquinanti (in entrambe queste applicazioni tipiche il risultato è acqua). Sarà quindi necessario individuare processi e tecnologie che permettano la produzione dell'idrogeno su scala industriale in maniera economicamente vantaggiosa e finalizzata

---

24 Per approfondimenti sull'impiego dei radioisotopi in medicina, dei metodi di fabbricazione delle sorgenti, incluso un elenco dei centri specializzati nella produzione, si rimanda al link: <https://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine.aspx>

25 [https://ec.europa.eu/euratom/observatory\\_radioisotopes.html](https://ec.europa.eu/euratom/observatory_radioisotopes.html)

26 Ad esempio l'iniziativa transatlantica Gemini, <http://www.gemini-initiative.com/>



alla salvaguardia dell'ambiente: sarebbe difficilmente comprensibile produrre idrogeno utilizzando energia elettrica e calore ottenuti bruciando, ad esempio, gas o carbone come potrebbe risultare antieconomico, insufficiente e addirittura inefficiente installare migliaia di aerogeneratori o km<sup>2</sup> di pannelli fotovoltaici, saturando terreni e squilibrando la rete elettrica (con fonti intermittenti), per ottenere energia tale da consentire la produzione di limitate quantità di idrogeno<sup>27</sup>. Anche se sono allo studio soluzioni diverse in ambiti territoriali ed applicativi diversi, certamente non possono essere ignorate le molteplici difficoltà nel gestire il solo stoccaggio o la distribuzione dell'idrogeno, e dell'energia necessaria a produrlo. Siamo al paradosso che l'idrogeno è un combustibile che non emette gas climalteranti (nella fattispecie, CO<sub>2</sub>) nel momento in cui viene "utilizzato", ma la cui produzione di fatto richiede così tanta energia da spostare il problema dell'inquinamento sull'energia necessaria ad ottenerlo e a gestirlo in sicurezza<sup>28</sup>. L'energia per produrre il combustibile del futuro deve essere pulita, abbondante, disponibile e a basso costo<sup>29</sup>: Una possibile soluzione, che richiede in ogni caso una dedicata attività di ulteriore ricerca e sviluppo tecnologico, riguarda la produzione di idrogeno utilizzando reattori nucleari operanti con gas ad alta temperatura (HTR), accoppiati ad un processo termochimico adeguato<sup>30</sup>.

In alternativa, partendo dalla consolidata e riconosciuta esperienza italiana nella tecnologia dei reattori veloci refrigerati a piombo (LFR)<sup>31</sup>, si potrebbe pensare di fornire il calore necessario ad un impianto chimico di produzione dell'idrogeno (e.g. di *steam reforming*) proprio mediante un reattore di questo tipo, opportunamente scalato e concepito ad hoc, dal quale trasferire il calore del piombo allo stato fuso ad un ulteriore vettore che successivamente fornirebbe il calore necessario a produrre l'idrogeno, con un elevato rendimento energetico. Questa soluzione tecnica, una volta messa a punto, offrirebbe opportunità strategiche gigantesche, perfettamente in linea con il piano europeo di decarbonizzazione del sistema elettrico. Il Parco Tecnologico, quindi, si presterebbe bene ad ospitare laboratori di ricerca dove poter approfondire gli studi sui reattori HTR o gli studi su reattori di IV Generazione, su come accoppiare questi impianti con gli impianti chimici per la produzione di idrogeno, oltre ad accogliere al suo interno impianti pilota in cui testare le tecnologie da trasferire, poi, su scala industriale.

#### *Sviluppo di tecnologie a supporto di reattori nucleari avanzati*

La trasmutazione di radionuclidi (es. attinidi minori) all'interno di rifiuti radioattivi ad alta attività, di cui si è accennato sopra, può essere effettuata anche utilizzando i reattori veloci della prossima generazione, che potrebbero essere utilizzati come una sorta di 'bruciatori' di questi radionuclidi<sup>32</sup>. Questi reattori utilizzerebbero un combustibile 'speciale', da realizzarsi ad hoc, al cui interno verrebbero concentrati i prodotti indesiderati derivanti (ad esempio, ma non solo) dal riprocessamento del combustibile nucleare (principalmente quello dei reattori di potenza), evitando così il loro conferimento (previo opportuno trattamento) ai depositi geologici. Gli studi sulla

---

27 Gli approfondimenti su questo aspetto possono essere reperiti nel rapporto AA.VV. *Road to EU Climate Neutrality by 2050, Spatial Requirements of Wind/Solar and Nuclear Energy and Their Respective Costs*, A Peer-Reviewed Publication for ECR Group and Renew Europe, European Parliament, Brussels, Belgium 2021, liberamente scaricabile al link: [https://roadtoclimateneutrality.eu/Energy\\_Study\\_Full.pdf](https://roadtoclimateneutrality.eu/Energy_Study_Full.pdf)

28 <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

29 Attualmente solo l'energia nucleare permetterebbe di utilizzare vantaggiosamente il vettore idrogeno, in particolare mediante lo sfruttamento di calore ad alta temperatura prodotto in impianti nucleari progettati ad-hoc o derivati da soluzioni esistenti. Per approfondimenti si vedano: il Bollettino IAEA *Nuclear Power and the Clean Energy Transition*, scaricabile al link <https://www.iaea.org/bulletin/61-3> e [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1577\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1577_web.pdf)

30 Ad esempio il processo I-S, ciclo Zolfo-Iodio

31 <https://www.enea.it/it/centro-ricerche-brasimone/attivita-di-ricerca/divisione-di-ingegneria-sperimentale/i-reattori-di-iv-generazione/alfred>  
<http://www.alfred-reactor.eu/>

32 <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/accelerator-driven-nuclear-energy.aspx>  
<https://www.researchgate.net/publication/309007287> La Trasmutazione delle Scorie Nucleari per la Chiusura del Ciclo dell'27 Energia Nucleare

Per ulteriori approfondimenti su questo complesso argomento si può fare riferimento alle seguenti pubblicazioni (tecniche) reperibili in rete: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-14319-7>  
<https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/10145538>  
[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/28/053/28053895.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/28/053/28053895.pdf)

fabbricazione di questo combustibile speciale avrebbero la loro naturale collocazione presso le strutture del Parco Tecnologico (in cui i residui di riprocessamento verranno temporaneamente stoccati) e sempre sfruttando le elevate competenze in materia già presenti nel nostro Paese.

Sono molti i processi industriali (industria chimica, industria del vetro, siderurgia etc.) che richiedono calore, che viene ottenuto generalmente con riscaldatori elettrici o bruciando direttamente combustibili fossili. Gran parte di queste sorgenti termiche potrebbero essere rimpiazzate da piccoli reattori nucleari, ad altissimo grado di sicurezza intrinseca, i cosiddetti SMR – Small Modular Reactor<sup>33</sup>. Si tratta di reattori estremamente semplici e “robusti”, che richiedono una manutenzione minima, ottimizzano ulteriormente l'utilizzo del combustibile e sono dispiegabili in singole unità (per utenze di limitata potenza) o in 'cluster' altamente modulari, capaci di alimentare interi distretti industriali. Gli SMR, specificamente progettati per fornire il calore di processo (con o senza il modulo di conversione elettrica), o derivati dai molti progetti esistenti, consentirebbero di risparmiare ogni anno, solo in Italia, milioni di tonnellate di combustibili fossili (eliminando la conseguente immissione di CO<sub>2</sub> in atmosfera dovuta alla loro combustione) e di azzerare l'inquinamento (e i rischi) correlati al loro trasporto ed immagazzinamento. Gli SMR stessi potrebbero essere utilizzati per i processi di produzione dell'idrogeno, di cui si è accennato in precedenza. Anche in questo caso, l'approfondimento di queste tematiche e la verifica sperimentale delle soluzioni in facilities e laboratori dedicati all'interno del Parco Tecnologico sono congruenti con le linee guida che ne definiscono le finalità, in quanto si tratta di applicazioni esplicitamente dirette a 'decarbonizzare' diversi settori industriali e che rientrano quindi in quel concetto di eco-innovazione previsto dalla normativa vigente<sup>34</sup>.

I laboratori dedicati alla ricerca sul campo (per esempio nell'ambito della chimica nucleare, dei componenti termotecnici avanzati, etc.) dovranno essere affiancati da opportune infrastrutture computazionali: la struttura del Parco Tecnologico, quindi, nel suo complesso dovrebbe essere dotata anche di centri di calcolo all'avanguardia che potranno essere utilizzati sia dal Centro Interuniversitario che da selezionati partner pubblici e privati.

Una parte fondamentale del Parco Tecnologico dovrebbe essere l'Information Center sull'energia nucleare e le sue applicazioni e il corrispondente museo, così come avviene in altre strutture analoghe (e.g. gli impianti COVRA di Vlissingen-Oost, Paesi Bassi). L'Information Center potrebbe essere integrato da apposite strutture congressuali, al fine di rendere il Parco Tecnologico non solo un centro di ricerca e sperimentazione ma anche un polo internazionale per meeting scientifici di alto livello.

All'Italia spetta il primato di essere non solo l'unico paese industrializzato ad aver rinunciato alla produzione elettroneucleare ma anche di essere l'unico paese del G20 a non possedere un sito nazionale per i rifiuti radioattivi. L'Italia non ha tratto alcun vantaggio economico o di sicurezza con la rinuncia alla produzione elettroneucleare. Non possiamo permettere, quindi, che le possibilità offerte dal Deposito Nazionale vengano sprecate.

La gestione dei rifiuti radioattivi è una prassi che non pone particolari problemi tecnici neppure per quanto riguarda la gestione di materiali ad alta attività. Il Deposito Nazionale è sicuro e necessario. Il Parco Tecnologico sarà fondamentale per sviluppare innovazione ed eccellenze nel settore nucleare, sui nuovi reattori, per fornire nuove soluzioni per la gestione dei rifiuti radioattivi ad alta attività, per la salvaguardia dell'ambiente, per scoprire nuovi modelli di mix energetico che assicurino energia pulita ed abbondante, per sviluppare nuovi business, posti di lavoro qualificati e creare nuove opportunità di crescita del Paese.

Riteniamo che puntando su queste leve, in accordo con le linee guida europee, si potrà avere una risposta positiva dall'opinione pubblica sull'accettabilità di questo grande progetto.

---

33 A seguente link [https://aris.iaea.org/Publications/SMR\\_Book\\_2020.pdf](https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf) è possibile scaricare il volume *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments 2020 Edition*, un interessante volume in cui sono descritti tutti i progetti di SMR, realizzati o in fase di sviluppo e i relativi ambiti di utilizzo.

34 <https://www.depositonazionale.it/documenti/pagine/norme.aspx>

La YG di AIN concorda con le linee strategiche adottate dal Decisore ed implementate da SOGIN S.p.A. per la consultazione pubblica per la localizzazione, la costruzione e l'esercizio del Deposito Nazionale. Concordiamo con la correttezza scientifica dei metodi adottati per redigere la CNAPI. Ribadiamo infine che il procedimento di consultazione pubblica per la localizzazione, la costruzione e l'esercizio del DN-PT dovrà essere supportato dalla diffusione di una corretta e scientificamente chiara informazione a tutti i livelli della società e in tutte le sue fasi.

## APPENDICE di approfondimento sui rifiuti radioattivi dell'industria elettronucleare

Prendendo a riferimento un reattore nucleare commerciale da 1600 MWe di ultima generazione<sup>35</sup>, esso immetterà in rete circa 12 miliardi di kWh in un anno, ipotizzando un fattore di utilizzazione del 85% (corrispondente a 10 mesi di funzionamento a pieno regime). Per fare questo il reattore 'consumerà' 25 tonnellate di combustibile che opportunamente 'impacchettate' occuperanno un volume di circa 60 m<sup>3</sup> (a seconda della tipologia di contenitore -commerciale- scelto). Questi 60 m<sup>3</sup> (in pratica il volume del rimorchio standard di un camion autoarticolato) sono i rifiuti HLW che un impianto di questo tipo produrrebbe in un anno se si scegliesse di non riprocessare il combustibile. Ben poca cosa se si pensa che per ottenere la stessa energia con i combustibili fossili sarebbero necessari ogni anno:

- circa 2 miliardi di m<sup>3</sup> di gas naturale; per avere un'idea di questo quantitativo si può fare riferimento alla capacità di trasporto di una moderna nave metaniera con capacità di carico di 145000 m<sup>3</sup> (lunghezza >280 m, larghezza 45 m) di gas naturale liquefatto (GNL), corrispondenti a circa 11,5 milioni di m<sup>3</sup> (smc) di gas naturale: in pratica occorrono, per ottenere la stessa energia, 22 navi di questo tipo all'anno, cui va sottratta ovviamente l'energia per far muovere le navi e per liquefare-rigassificare il gas naturale...
- circa 2,25 milioni di tonnellate di olio combustibile, ossia circa 15 navi petroliere da 150000 tonnellate (DWT), oppure circa 3,5 milioni di tonnellate di carbone, corrispondenti a 35 navi da carico da 100000 tonnellate di carico utile (DWT), cui va sommata l'energia necessaria per muovere la nave...

Una moderna centrale termoelettrica a carbone 'produce' mediamente 0,85 kg di CO<sub>2</sub> per ogni kWh immesso in rete; per ottenere la stessa energia della centrale nucleare presa a riferimento (12 miliardi di kWh / anno) una centrale termoelettrica a carbone produrrebbe 10,2 milioni di tonnellate di anidride carbonica, più svariate migliaia di tonnellate di ceneri pesanti e leggere (in gran parte riciclabili nell'industria del cemento...), contenenti metalli pesanti e svariati isotopi radioattivi<sup>36</sup>.

Oltre ai rifiuti radioattivi ad alta attività di cui sopra, durante il normale esercizio, la centrale nucleare produce mediamente ogni anno anche 60 m<sup>3</sup> di rifiuti a bassa attività (VLLW e LLW) e circa 20 m<sup>3</sup> di rifiuti a media attività (ILW). Di cosa si tratta davvero? Nel primo caso si tratta di vera e propria 'spazzatura', così come siamo abituati a pensarla, ossia stracci, carta, arnesi da lavoro, DPI, guanti e tute da lavoro usa e getta, filtri, apparecchi di misura, parti elettromeccaniche (sostituite per manutenzione) e qualsiasi altro oggetto che, transitando dalla zona controllata, potrebbe essersi contaminato. Alcuni di questi materiali, come anche i componenti impiantistici periodicamente sostituiti per manutenzione, filtri, resine per il trattamento dell'acqua etc. possono raggiungere livelli di contaminazione o attivazione tali per cui ricadono nella categoria ILW.

Il combustibile nucleare, dopo alcuni anni di raffreddamento in apposite piscine può seguire, come detto, due strade: essere stoccato provvisoriamente in appositi impianti e contenitori per essere poi smaltito in futuri depositi geologici<sup>37</sup>, oppure essere riprocessato e dar vita a nuovo combustibile nucleare. In ciascun elemento di combustibile 'esausto' (delle 25 t scaricate dal reattore) vi è infatti il 96% di materiale direttamente riutilizzabile per fabbricare nuovo combustibile, incluso naturalmente il pregiato materiale fissile (circa 1% di <sup>235</sup>U e circa 1% di <sup>239</sup>Pu). Il restante 4% è costituito dai prodotti di fissione e dagli attinidi minori. Attraverso il riprocessamento<sup>38</sup> (di fatto il riciclo) del combustibile nucleare, è possibile recuperare non solo i materiali direttamente riutilizzabili per la fabbricazione di nuovo combustibile ma anche altri radionuclidi

---

35 [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/40/065/40065271.pdf?r=1](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/40/065/40065271.pdf?r=1)

36 <https://www.scientificamerican.com/article/coal-ash-is-more-radioactive-than-nuclear-waste/>

37 Una panoramica sulla gestione del combustibile nucleare irraggiato si trova nel Bollettino IAEA dedicato a questo argomento, scaricabile al seguente link: [https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull602\\_june2019\\_0.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull/bull602_june2019_0.pdf) mentre un interessante articolo scientifico, adatto agli approfondimenti è scaricabile al link: [https://www.researchgate.net/publication/225695558\\_Geological\\_Storage\\_of\\_High\\_Level\\_Nuclear\\_Waste](https://www.researchgate.net/publication/225695558_Geological_Storage_of_High_Level_Nuclear_Waste)

38 <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx>

utili in altri campi (ad esempio industria o medicina). I materiali di scarto ad alta attività del processo (che ha visto in ingresso le 25 t di combustibile esausto che occupavano un volume di 60m<sup>3</sup>) subiranno un processo di condizionamento dopo il quale i manufatti finali (residui vetrificati collocati in una capsula di acciaio inox) occuperanno un volume di circa 5 m<sup>3</sup>. A questi si aggiungeranno altri 4 m<sup>3</sup> di rifiuti a media attività costituiti dai detriti metallici (ossia guaine ed elementi strutturali) dell'elemento di combustibile originario. Ipotizzando una vita operativa di 60 anni, una moderna centrale nucleare da 1600 MWe, nell'ipotesi che venga effettuato il riprocessamento del combustibile, produrrà quindi 3600 m<sup>3</sup> di VLLW e LLW, 1440 m<sup>3</sup> di ILW (1200 m<sup>3</sup> dal normale esercizio e 240 m<sup>3</sup> derivanti dal riprocessamento, pari al volume di 24 ISO container standard da 12 m) e 300 m<sup>3</sup> di HLW condizionati (il volume di 5 ISO container standard da 12 m). La gestione di quantitativi così limitati non pone particolari problemi ma per avere un'idea dell'entità di questi numeri possiamo confrontarli, così come già fatto nelle prime pagine di questo documento con le quantità di rifiuti solidi urbani.

I rifiuti urbani prodotti in Italia nel 2019 sono circa 30 milioni di tonnellate, in pratica ogni cittadino italiano, durante l'anno, ha prodotto in media circa 500 chilogrammi di rifiuti. Di questi una significativa parte viene per fortuna riciclata (naturalmente il riciclo è un processo industriale energivoro e che a sua volta produce i suoi rifiuti) e 'solo' il 21%<sup>39</sup>, pari a circa 6,3 milioni di tonnellate finisce in discarica. Una discarica, nel ciclo della gestione dei rifiuti, è un luogo dove vengono depositati/stoccati e fatti marcire in modo non selezionato e permanente i rifiuti solidi urbani e tutti gli altri rifiuti (anche umidi) derivanti dalle attività umane che, in seguito alla loro raccolta, non è stato possibile riciclare.

La centrale nucleare moderna presa a modello (1600MWe), con i suoi 12 miliardi di kWh immessi in rete ogni anno, è in grado di alimentare circa 4 milioni di utenze elettriche domestiche (grosso modo due grandi metropoli italiane), producendo mediamente una ventina di tonnellate di rifiuti radioattivi a media e alta intensità e una trentina di tonnellate a bassa e bassissima attività all' anno; gli abitanti delle due metropoli (ipotizzando che una famiglia media sia composta da 3 persone) nello stesso anno avranno prodotto 12 milioni di tonnellate di rifiuti solidi urbani di cui 2,5 milioni tonnellate finiranno definitivamente sottoterra in eredità permanente alle future generazioni.

---

39 Si veda precedente nota 4.