

## **Convenzione Quadro ENEA-INFN**

**Ricognizione sulle collaborazioni in atto nell'ambito specifico delle  
“Sorveglianza e Gestione Rifiuti Radioattivi”**

Referenti:

INFN (Paolo Finocchiaro)

ENEA (Nadia Cherubini)

## **Premessa**

Nell'ambito delle attività promosse dal Comitato d'indirizzo della Convenzione Quadro tra ENEA e INFN è stata effettuata una prima ricognizione delle collaborazioni in atto tra i due enti con l'obiettivo di individuare le opportunità di potenziamento della collaborazione stessa. Il Comitato ha ritenuto opportuno organizzare una giornata di lavoro con lo scopo di pubblicizzare l'insieme delle collaborazioni, con particolare attenzione agli sviluppi possibili.

All'interno della collaborazione, sono stati individuati i seguenti ambiti specifici:

- Acceleratori.
- Aerospazio.
- Ambito.
- Applicazioni mediche.
- Beni culturali.
- Calcolo ad alte prestazioni, Big Data, Intelligenza Artificiale, ecc.
- Economia della conoscenza.
- Fisica ambientale.
- Fissione.
- Fusione.
- Sorveglianza e gestione rifiuti radioattivi, ispezioni, ecc.
- Tecniche sperimentali innovative.

Per ciascuno di essi, sono stati designati un referente per ENEA e uno per INFN. Ad essi è stato assegnato il compito di raccogliere le collaborazioni in atto e presentarle in forma organica durante la giornata di lavoro.

Il presente rapporto presenta il risultato di tale ricognizione nell'ambito specifico delle “**Sorveglianza e Gestione Rifiuti Radioattivi, Ispezioni, ecc.**”.

Nel seguito, per ciascuna tematica censita, è riportata una breve descrizione, come fornita dai rispettivi referenti specifici nei due Enti.

## **Tematica N. 1: Gestione Rifiuti Radioattivi e Monitoraggio Radiologico.**

### Collaborazioni attuali.

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e il Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare dell'Agenzia, ciascuno con i propri Laboratori, partecipano e collaborano, in qualità di partner, nell'ambito della gestione di rifiuti radioattivi in diversi progetti facenti parte del Programma Europeo H2020.

### **Progetto MICADO - Measurement and Instrumentation for Cleaning And Decommissioning Operations.**

Il Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica e Gestione Rifiuti (FSN FISS CRGR) ed il Laboratorio Metodi e Tecniche Nucleari per la Sicurezza, il Monitoraggio e la Tracciabilità (FSN-SICNUC-TNMT) partecipano insieme a INFN Laboratori Nazionali del Sud (LNS) al Progetto MICADO, progetto che ha l'obiettivo di migliorare la gestione dei rifiuti radioattivi e le attività di smantellamento (Decommissioning & Dismantling) proponendo un metodo economicamente efficace per la caratterizzazione non distruttiva dei rifiuti radioattivi, definendo un processo di digitalizzazione associato e creando un "data base" per la gestione dell'inventario dei rifiuti. Tale progetto fornirà una soluzione chiavi in mano, denominata Radiological Characterisation & Monitoring System (RCMS) DigiWaste, che consentirà:

- una esecuzione più rapida di misure radiologiche;
- una caratterizzazione ottimizzata dei rifiuti radioattivi che combina tecniche di analisi non distruttive e strumenti già utilizzati come riferimento;
- un monitoraggio accurato e a lungo termine dei rifiuti nucleari;
- una digitalizzazione efficiente della completa caratterizzazione radiologica e dei relativi processi.

Il progetto "Measurement and Instrumentation for Cleaning And Decommissioning Operations", inserito nell'ambito della topic NFRP – 2018 - 10 "Encouraging innovation in nuclear safety for the benefit of European citizen" del programma europeo H2020 Euratom Work Programme 2018, è iniziato il 1° giugno 2019 e terminerà il 31 maggio 2022.

L'Agenzia ENEA è coinvolta principalmente nei WP4, WP5, WP6, WP7 e WP10, di cui è leader.

In particolare si occupa di:

- collaborazione nella progettazione e realizzazione di un sistema modulare per la caratterizzazione radiologica di rifiuti contenenti alfa emettitori mediante tecniche neutroniche passive e attive e preparazione dei test dimostrativi sul campo;
- collaborazione all'elaborazione di simulazioni Monte Carlo allo scopo di ottimizzare i sistemi di rivelamento di radionuclidi
- collaborazione allo sviluppo di un sistema automatico per la caratterizzazione completa dei rifiuti radioattivi contenenti radionuclidi gamma emettitori. Il Sistema SRWGA (Sea Radioactive Waste Gamma Analyser) del Laboratorio di Radiochimica C43 verrà impiegato per la realizzazione di un prototipo che combini diverse tecniche non distruttive di spettrometria gamma a scansione (Open Geometry, Segmented Gamma Scanning, Angular Scanning) con un sistema di "Imaging Gamma" per la localizzazione di hot spot e la minimizzazione della durata dell'analisi globale;

- partecipazione alla realizzazione e integrazione della piattaforma software DigiWaste;
- coordinazione delle attività dei partner per la “Field Demonstration” finale.

L’INFN partecipa con i Laboratori Nazionali del Sud (LNS) il cui compito principale è quello di realizzare il sistema di rivelatori per il monitoraggio della radiazione gamma e neutronica, nell’ambito del Work Package 7 del quale è leader.

Il sistema proposto per il monitoraggio in tempo reale consiste in una serie di contatori di radiazioni gamma e neutroniche da disporre intorno a dei fusti di rifiuti radioattivi, al fine di monitorare i tassi di conteggio in tempo reale e renderli disponibili alla piattaforma DigiWaste.

Il monitoraggio radiologico dei rifiuti radioattivi deve essere basato sulla misurazione della radiazione gamma e dei neutroni, poiché questi sono i tipi di radiazioni penetranti più facilmente rilevabili dai fusti in maniera non invasiva. Il sistema complessivo deve essere modulare, in modo da poter modificare facilmente il numero e il posizionamento dei sensori attorno ai fusti, e deve essere scalabile al fine di poterlo adattare a configurazioni di stoccaggio su piccola, media e grande scala senza limitazioni concettuali.

Il sistema proposto si basa su rilevatori facilmente installabili e/o riasssemblabili in diverse configurazioni geometriche, essendo meccanicamente molto semplici e basati su elettronica commerciale. Inoltre questi rivelatori non necessitano di particolari procedure di taratura, e la loro semplicità di utilizzo e installazione li rende adatti per il monitoraggio a breve, medio e lungo termine.

### **PREDIS - Pre-disposal management of radioactive waste.**

Il Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica e Gestione Rifiuti (FSN FISS CRGR) partecipa insieme a INFN Sezione di Napoli – Sezione di Padova - LNS al Progetto PREDIS “PRE DISposal management of radioactive waste” (acronimo PREDIS) nell’ambito della topic NFRP-2019-2020-10, Call: NFRP-2019-2020 (Nuclear Fission and Radiation Protection Research), Research and innovation action”, del programma europeo H2020.

Il progetto è iniziato il 1° settembre 2020 e terminerà il 1° settembre 2024.

L’obiettivo della proposta progettuale è sia quello di sviluppare soluzioni per il trattamento e il condizionamento di particolari rifiuti in quei paesi dove attualmente non sono disponibili soluzioni adeguate, sia il miglioramento della sicurezza durante le fasi di gestione dei rifiuti.

Il progetto PREDIS si propone:

- di sviluppare soluzioni (metodi, processi, tecnologie) per il trattamento e il condizionamento dei rifiuti degli Stati membri per i quali sono attualmente disponibili solo soluzioni non ottimali, che possano migliorare la sicurezza durante le fasi di gestione dei rifiuti;
- di migliorare le soluzioni esistenti con soluzioni più sicure, più economiche o con processi alternativi che possano apportare benefici ai diversi Stati membri;

- di definire i criteri, i parametri e le specifiche di materiali e imballaggi che andranno a formare i criteri di accettazione dei rifiuti (WAC) per le attività di pre-smaltimento e smaltimento, garantendo l'omogeneizzazione dei processi di gestione dei rifiuti radioattivi in tutta Europa.
- applicare un approccio scientifico multidisciplinare e multiscala per dimostrare la fattibilità tecnica, economica e ambientale di soluzioni innovative per la gestione dei rifiuti;
- indirizzare i risultati del progetto al fine di favorire e renderli idonei all'utilizzo degli utenti finali;
- promuovere una cooperazione più profonda tra gli esperti di Stati membri e tra le diverse generazioni;
- formare nuovi esperti nel campo delle tecnologie di gestione del pre-smaltimento di rifiuti;
- procedere all'aggiornamento e alla revisione delle norme di buona tecnica per il pre-smaltimento (piani d'azione, gestione e meccanismi di distribuzione), insieme agli organi esecutivi dell'EURAD EJP.

L'Agenzia ENEA è coinvolta nel Work Package 5 “Innovations in liquid organic waste treatment and conditioning” e, più specificatamente, nei Task 5.4 (Study of conditioning matrix) e Task 5.6 (Implementation & Dissemination).

Nel WP5 saranno studiate le prestazioni delle diverse matrici di condizionamento di rifiuti liquidi organici contenenti radionuclidi alfa emettitori.

Il processo di trattamento/condizionamento si fonda su una preventiva qualificazione con caratterizzazione chimica e radiochimica dei rifiuti radioattivi primari e conseguentemente sulla scelta di idonee matrici di condizionamento. La qualificazione prevede la determinazione di quelle variabili di processo da controllare per garantire la forma finale voluta e la determinazione dei metodi più adeguati al controllo di queste variabili. Un adeguato programma di confezionamento e condizionamento dei rifiuti radioattivi prevede che vengano eseguite prove chimiche, fisiche e meccaniche, mirate a stabilire: compatibilità della matrice con il rifiuto, omogeneità, densità, stabilità chimica, lisciviabilità, presenza di gas e di liquidi liberi, stabilità dimensionale, resistenza al fuoco, resistenza alla compressione, resistenza al calore ed all'irraggiamento, degradabilità biologica ed eventuali altre proprietà peculiari.

L'obiettivo è definire e individuare una possibile applicazione di matrici adsorbenti per il trattamento/condizionamento dei rifiuti radioattivi liquidi organici, tramite una accurata attività di ricerca in ambito nazionale e internazionale atta ad individuare e studiare:

- le matrici polimeriche impiegate in ambito internazionale come matrice adsorbente per il trattamento/condizionamento dei rifiuti radioattivi liquidi organici e le loro caratteristiche;
- la tipologia e la metodologia delle determinazioni analitiche da effettuare sul rifiuto al fine di selezionare la migliore matrice adsorbente o la messa a punto della combinazione ottimale di più matrici;
- i parametri considerati rilevanti al fine di ottenere una matrice solida con particolari proprietà (stabilità, durabilità, ecc.);
- le principali esperienze in ambito internazionale (per le tipologie di rifiuto più simili a quelli oggetto del presente documento) ed eventuali criteri di accettazione a deposito (WAC).

L'INFN, tramite le Sezioni di Napoli e Padova ed i Laboratori Nazionali del Sud, partecipa nel WP7 “Innovations in cemented waste handling and predisposal storage” e, più specificatamente, nei Task 7.3

(Innovative integrity testing and monitoring techniques) e Task 7.6 (Demonstration and implementation of monitoring, maintenance, and automation/digitization techniques) con diversi obiettivi:

- sviluppo di tecniche di monitoraggio remoto dei fusti per l'ottimizzazione della valutazione radiologica dei fusti, tramite rivelatori di radiazione, monitor ambientali ed elettronica di nuova concezione;
- ottimizzazione di componenti e configurazione per la tomografia muonica da integrare nei depositi per l'imaging 3D del contenuto dei fusti;
- raccogliere e analizzare risultati dai vari task ed utilizzare le informazioni per lo sviluppo di un prototipo di contenitore da testare su larga scala;
- valutare e scegliere le principali tecniche non invasive sviluppate nei vari task per il monitoraggio dell'evoluzione ed eventuale degradazione dei fusti;
- effettuare una serie di test in un ambiente realistico presso operatori del settore della gestione di rifiuti radioattivi.

### **CLEANDEM - Cyber physical Equipment for unManned Nuclear DEcommissioning Measurements.**

Il Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica e Gestione Rifiuti (FSN FISS CRGR) partecipa insieme a INFN Sezione di Padova - Laboratori Nazionali del Sud (LNS) - Sezione di Genova al Progetto CLEANDEM - Cyber physical Equipment for unManned Nuclear DEcommissioning Measurements, nell'ambito della topic NFRP-2019-2020-09, Call: NFRP-2019-2020 (Nuclear Fission and Radiation Protection Research), Innovation Action”, del programma europeo H2020.

Il progetto inizierà presumibilmente il 1° marzo 2021 e avrà una durata di 3 anni.

Il progetto CLEANDEM propone una rivoluzione tecnologica nelle fasi operative di smantellamento e disattivazione (Decommissioning and Dismantling, D&D) di siti nucleari: la strategia CLEANDEM si baserà su sistemi tecnologici innovativi che costituiranno una “cassetta degli attrezzi” per equipaggiare una piattaforma robotica intelligente per operazioni completamente remote.

Lo scopo del progetto è fornire un “cyber” sistema fisico che supporterà le operazioni degli utenti finali, effettuando inizialmente una valutazione radiologica dell'area e quindi monitorando le operazioni di D&D durante tutta la caratterizzazione dell'impianto. Ciò si tradurrà in un sistema tridimensionale e completamente dettagliato e digitalizzato dell'area rilevata incrementata dalle informazioni radiologiche fornite dai sensori, consentendo così un'efficiente pianificazione delle azioni di smantellamento e ottimizzazione della gestione dei rifiuti nucleari per il trattamento e/o per lo stoccaggio finale.

Gli obiettivi del progetto sono: riduzione del tempo di permanenza in zone presumibilmente contaminate, riduzione dei costi, riduzione di risorse umane esposte e miglioramento della sicurezza dei lavoratori e della popolazione. L'efficacia della piattaforma sarà valutata in un test e convalida che verranno eseguiti nei laboratori, in ambienti simulati e anche in situ.

L'Agenzia ENEA è coinvolta nei Work Packages 4 (“Gamma and neutron detection and identification technologies”), 6 (“Contamination monitoring”) e 8 (“Data fusion and DT”).

Il ruolo dell'ENEA sarà quello di:

WP4: collaborare alle prove sperimentali inerenti al sistema di discriminazione Gamma Neutroni. Il Laboratorio di Caratterizzazione Radiologica parteciperà alla taratura del sistema in laboratorio; predisporrà ed eseguirà prove con le sorgenti di taratura gamma e neutroni per la caratterizzazione dei sistemi per testare e verificare le procedure operative.

WP6: progettare e realizzare un sistema di monitoraggio per la rivelazione continua di C-14 utilizzando elaborazioni digitali del segnale. Il sistema sarà installato in un idoneo impianto nucleare o deposito di rifiuti per il monitoraggio dell'aria atmosferica.

WP8: ottimizzare e coordinare i dati acquisiti da diverse fonti (sensori, campioni di materiali, database storico, ecc.).

L'INFN partecipa nel WP3 "Dose rate" e, nel WP4 "Gamma and neutron detection and identification technologies" con i seguenti obiettivi principali:

- sviluppo di sensori di radiazione gamma e neutronica miniaturizzati a basso costo, incluse l'elettronica di supporto e le interfacce di comunicazione wireless, trasportati o depositati da mini-robot per una mappatura di tassi di dose preliminare alle operazioni di smantellamento;
- simulazioni estensive, per l'ottimizzazione dei sensori summenzionati e di altri sensori e tecniche sviluppati dagli altri partner del progetto;
- effettuare delle campagne di test con sorgenti di laboratorio per la validazione ed ottimizzazione dei rivelatori, sia sviluppati dall'INFN che dagli altri partner, e in particolare per la discriminazione gamma/neutroni;
- partecipare ai test in ambiente realistico presso operatori del settore.

#### Collaborazioni future.

La gestione dei rifiuti radioattivi condizionati e non rappresenta un ambito di particolare rilevanza nel panorama nucleare.

L'ENEA, fin dalla metà degli anni '80, svolge un ruolo di primaria importanza nella gestione dei rifiuti radioattivi a media e bassa attività e delle sorgenti non più utilizzate, provenienti dai comparti medico-sanitario, industriale e dalla ricerca scientifica. L'Agenzia ENEA, con la gestione del Servizio Integrato, svolge una funzione di indirizzo, supervisione e controllo dell'intero ciclo di gestione, assume la proprietà dei rifiuti e delle sorgenti raccolte e si prende carico del loro smaltimento definitivo.

La collaborazione si propone di intensificare lo scambio di informazioni tra i due enti, ciascuno per le proprie competenze, puntando sui rispettivi punti di forza e individuando i punti di maggiore criticità da affrontare con impegno congiunto. L'Agenzia può mettere a disposizione le proprie installazioni e i rifiuti di sua proprietà al fine di instaurare e promuovere una attività di ricerca e sviluppo per il monitoraggio e la rivelazione di radionuclidi in tempo reale e in situ di oggetti e superfici contaminate, in modalità remota.

La collaborazione fra i due enti potrebbe essere estesa, nell'ambito della gestione dei rifiuti radioattivi, ai rifiuti generati dalla fusione.

I futuri reattori a fusione genereranno rifiuti durante il funzionamento e la disattivazione. A differenza dei rifiuti di fissione, i rifiuti di fusione non conterranno, o solo in misura minore, elementi transuranici e prodotti di fissione. Tuttavia, i rifiuti conterranno prodotti di attivazione e trizio. La gestione dei rifiuti di fusione sarà una questione importante al momento di decidere la realizzazione e l'ubicazione degli impianti.

La maggior parte dei materiali radioattivi generati durante il funzionamento della centrale a fusione sono materiali metallici solidi attivati dai componenti principali della macchina. Il flusso dominante di materiale radioattivo viene generato durante la fase di disattivazione, ma una quantità significativa, per quanto riguarda l'inventario radioattivo, viene prodotta anche durante le sostituzioni parti di impianto. Gran parte dei materiali di disattivazione (fino all'80%) ha una concentrazione di attività molto bassa e può essere sottratta al controllo normativo, soprattutto quando si prevede un lungo periodo (fino a 100 anni) di stoccaggio temporaneo. Il restante 20% dei materiali attivi potrebbe essere smaltito come LLW o presumibilmente riciclato, anche se la presenza di trizio potrebbe introdurre gravi complicazioni al processo di riciclaggio.

## **Tematica N. 2**

### **Equipaggiamento per ispezioni nucleari IAEA.**

#### Collaborazioni attuali.

È attualmente in corso una collaborazione tra INFN - Laboratori Nazionali del Sud e l'Agenzia ENEA (sede di Bologna), riguardante lo sviluppo di attrezzature innovative per le procedure ispettive presso installazioni nucleari o presso luoghi in cui ci siano attività nucleari non dichiarate. È in corso di valutazione l'opportunità di procedere con una richiesta congiunta di brevetto.

Il ruolo dell'INFN è di sviluppare i sistemi di sensori, costruire prototipi, effettuarne i test, validare le simulazioni.

Il ruolo dell'ENEA è di effettuare una serie dettagliata di simulazioni Monte Carlo allo scopo di ottimizzare i sistemi in funzione delle prestazioni richieste. Inoltre ENEA sperimenterà i prototipi sviluppati congiuntamente in ambiente reale, per applicazioni di security e di forensica nucleare.

#### Collaborazioni future.

Si intende continuare la collaborazione in atto, per poter poi prospettare l'utilizzo di tali dispositivi alle organizzazioni IAEA e CTBTO. In particolare, nel caso dell'organizzazione CTBTO, si intenderà testare i dispositivi e l'infrastruttura ad essi integrata per delle esercitazioni reali in situ, che sono programmate per il 2022.