ENEA Ricerca Sistema Elettrico	Sigla di identificazione	Distrib.	Pag.	di
	ADPFISS – LP1 – 076	L	1	25

Titolo

Contributo alla piattaforma IGD-TP e altre iniziative internazionali sulla gestione dei rifiuti radioattivi

Descrittori

Tipologia del documento:

Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MSE su sicurezza nucleare e reattori di IV generazione

Argomenti trattati: ciclo del combustibile

Sommario

Nell'ambito dell'AdP MSE-ENEA, l'ENEA contribuisce alla discussione, in ambito europeo e internazionale, delle modalità di progettazione e gestione del deposito geologico, attraverso la partecipazione alla piattaforma tecnologica europea "Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform (IGD-TP)" IGD-TP e ad altre iniziative internazionali.

ENEA sintetizza annualmente le iniziative europee sulla tematica del deposito geologico per i rifiuti radioattivi, fornendo una visione strategica delle attività più strettamente collegate alla ricerca energetica italiana ed alle necessità del paese.

Note

Autori: ***Antonietta Rizzo, Paolo Bartolomei, Alfredo Luce, Riccardo Levizzari, Barbara Ferrucci, Chiara Telloli***

Copia n. **In carico a:**

REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE
2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMISSIONE	23/08/16	NOME	A. Rizzo	F. Padoani	P. De Rosa
			FIRMA			

Sommario

1 La piattaforma tecnologica IGD-TP 3
1.1 Premessa 3
Il Master DeplymentPlan 2016 4
1.2 4
1.3 L'Exchange Forum 2015 5
1.4 Il Prossimo Exchange Forum 2016 6
1.5 La strategia europea in ambito H2020 7
2 I WORKING GROUP IN CORSO 11
2.1 WG1: "Novel thermal treatments for waste" 11
2.2 WG2: "Bentonite homogenization" 13
2.3 WG3: "Cement Organics Radionuclide Interactions" 14
2.4 WG4: "Dissolution rate for spent fuels" 16
3 I PROGETTI H2020 di ENEA 16
3.1 Il progetto CAST - JA3 Waste forms and their behaviour 16
3.1.1 C14 negli Acciai e leghe 17
3.1.2 C14 nelle resine a scambio ionico 19
3.1.3 C14 nella grafite 20
3.2 Il progetto MODERN2020 - JA 7 Monitoring Programme 21
3.2.1 Strategie di monitoraggio 22
3.2.2 Ricerca e sviluppo per le tecniche di monitoraggio 22
4 Considerazioni Conclusive 23
ELENCO DELLE ABBREVIAZIONI 24
BIBLIOGRAFIA 25

1 La piattaforma tecnologica IGD-TP

1.1 Premessa

La piattaforma tecnologica europea "Implementing Geological Disposal of Radioactive Waste Technology Platform (IGD-TP)" (www.igdtp.eu), lanciata ufficialmente il 18 novembre 2009 a Bruxelles, con lo scopo di coinvolgere tutti gli stakeholders, che sono interessati a contribuire al dibattito tecnico, scientifico, economico e sociale relativo allo smaltimento geologico del combustibile nucleare esausto e dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita, continua a perseguire gli obiettivi che si è data nel suo Vision Report [1], declinando le attività così come previste dalla relativa agenda strategica SRA, pubblicata nel 2011 [2].

Attualmente (dati 2016) **122 organizzazioni** [3] hanno aderito all'iniziativa, fra **cui 6 istituzioni italiane** (in ordine di adesione):

- Agenzia Nazionale per l'energia, l'ambiente e lo sviluppo economico sostenibile - ENEA,
- Consorzio inter-universitario per la ricerca tecnologia sul nucleare - CIRTEN,
- Università di Milano,
- Istituto Nazionale fisica Nucleare - INFN,
- Istituto Nazionale di Oceanografia e di geofisica sperimentale - OGS,
- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV.

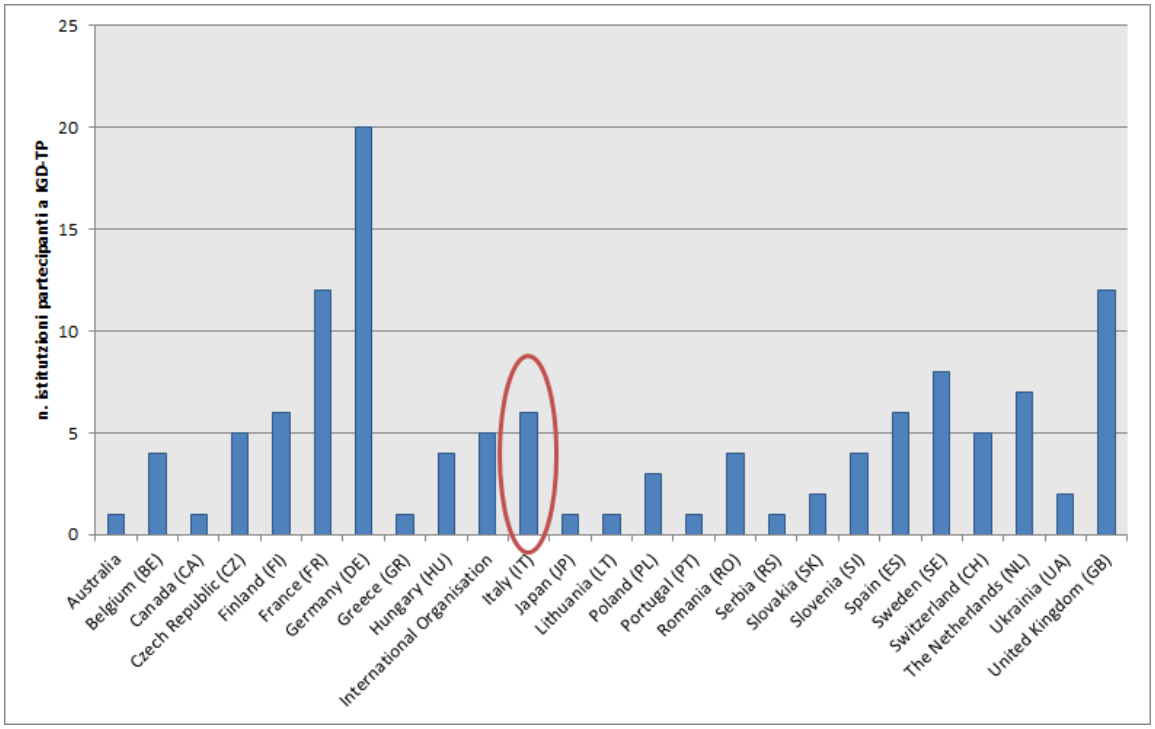


Figura 1 Paesi partecipanti ad IGD-TP con indicazione del numero di istituzioni coinvolte

L'ENEA, che aderisce alla piattaforma IGD-TP fin dal 2010, continua a partecipare al dibattito tecnico scientifico attraverso la partecipazione ai forum annuali e alle attività **dei working groups** e delle **joint actions** ed il presente documento intende aggiornare le attività realizzate nel periodo ottobre 2015- settembre 2016.
Le modalità con cui le istituzioni interessate possono partecipare alle attività è stata descritta nel documento RSE-ADPFISS – LP1 – 010 [4].

1.2 Il Master DeplymentPlan 2016

La **Strategic Research Agenda** (SRA) è stata proposta nel 2011 per identificare e razionalizzare le iniziative di ricerca, sviluppo e dimostrazione (RD&D) necessarie per realizzare la visione descritta nel Vision Report ed ha una estensione temporale di qualche anno.

La SRA aveva identificato 7 tematiche principali (KEY TOPICS) che a loro volta comprendevano altre tematiche ad esse relative, per un totale di 37.

KEY TOPICS:

1. Safety case,

2. Waste forms and their behavior,

3. Technical feasibility and long-term performance of repository components,

4. Development strategy of the repository,

5. Safety of construction and operations,

6. Monitoring,

7. Governance and Stakeholder involvement.

Di seguito la tabella aggiornata delle tematiche suddivise per Key Topics, dopo la revisione della SRA del 2015, (vedi confronto con List of Key Topics in RSE-ADPFISS–LP1-038 [6]), in cui sono evidenziate in arancio quelle che ENEA sta seguendo in maniera più specifica.

Tabella 1 Lista delle attività in corso relative alla Strategic Research Agenda

JA n°	Joint Activity: SRA Topics and their deployment activities	EU Project
1	Waste forms and behaviour: TSWG launched in 2011 (Topics 2.1, 2.4, 2.5)	FIRST- Nuclides
2	Full scale demonstration of Plugging & Sealing: TSWG launched in 2011 at first during 2011-2012 (Topics 3.6, 3.10 and 3.14,), TEP from 2012-2016	TEP DOPAS
3	Waste forms and their behaviour: TSWG during 2012-2013 on C14 (Topic 2.2)	CAST
4	Monitoring the Environmental Reference State: TSWG 2013-2014 (Topic 6.3)	
5	Safety of construction and operations: ORWG (Topics 5.1 and 5.2)	
6	Confidence increase in safety assessment 1 (concepts, definition of scenarios and computer codes). Materials interactions: especially cement and clay based interactions. TSWG and TEP (Topics 1.1 - the only TSWG, 3.11, 3.12, 3.15, 3.17)	CEBAMA
7	Monitoring programme: TSWG (Topics 6.1, 6.2, 6.4)	MODERN2020
8	Handling of Uncertainties in the Safety Case for Deep Geological Repositories: TSWG (Topic 1.3)	
9	Efficient peer review and related QA processes: ORWG (Topic 1.2).	
10	Long-term stability of bentonite in crystalline environments: TEP (Topic 3.9)	BELBaR
11	Various Topics belonging to different categories. Topics concern the governance of the decision making and various Topics related to technical feasibility of repository components (Topics 7.1, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, and 3.16)	proposal on one Topic JA 11a
12	ORWG on Adaptation and optimisation of the repository (Topic 4.1)	
13	Communicating result from RD&D IEP (CC1, CC4),	SecIGD2 project (WP2)
14	Competence Maintenance, Education and Training: ORWG CMET (CC2), permanent ORWG since 2012	ORWG supported currently by SecIGD2 project (WP3)
15	Nuclear Knowledge Management: ORWG NKM (CC3)	
16	WMOs IEP (WMO 1-6)	

1.3 L'Exchange Forum 2015

L'Exchange Forum del 2015 si è tenuto a Londra il 3 e 4 Novembre 2015 ed è la 6ª edizione dei forum.
L'excecutive group ha proposto di revisionare i progetti europei che sono conclusi nel 2014 (PEBS, MODERN, FIRTS-Nuclides e REDUPP) per verificarne e discuterne i risultati. Sarà dato particolare rilievo all'impatto di questi progetti sulla realizzazione della visione dell'IGD-TP.

Inoltre sono stati presentati i tre nuovi progetti finanziati nell'ambito del programma H2020: MODERN2020, CEBAMA e MIND.
La revisione di tutti questi progetti è stata condotta tramite sessioni plenarie. Sono stati quindi organizzate delle sessioni parallele durante le quali sono stati discussi i progressivi dei seguenti working groups:

WG1: "Novel thermal treatments for waste"
WG2: "Bentonite homogenization"
WG3: "Cement Organics Radionuclide Interactions"
WG4: "Dissolution rate for spent fuels"



In occasione del Forum si è inoltre voluto esplorare le potenzialità di collaborazione con due comunità scientifiche:

- L'associazione MELODI che potrebbe supportare la creazione delle strutture necessarie per gestire la gestione di progetti per la protezione dalle radiazioni nell'ambito dei programmi di ricerca europea a lungo termine;
- L' Integration Group for the Safety Case (IGSC), formatosi nel 2000 nell'ambito del Radioactive Waste Management Committee (RWMC) della NEA per assistere gli stati membri nello sviluppo di scenari di safety con solide basi tecnico-scientifica.

ENEA ha partecipato al WG3, poiché nel corso del 2015 sono iniziate le negoziazioni per un futuro progetto sulle interazioni organici-Ferro-cemento (CORI), coordinato dal Karlsruhe Institute of Technology (KIT) in Germania. Nel corso del 2016, tuttavia, l'Executive Group ha deciso di posticipare la presentazione di tale progetto, dando priorità ad altre tematiche.

Il Forum è stato anche occasione per un incontro informale per valutare l'eventuale interesse di istituzioni e WMO per una nuova proposta progettuale sulla caratterizzazione di rifiuti radioattivi. ENEA è stata invitata a questo tavolo informale per collaborare sulla tematica della determinazione del contenuto di C14 e Cl36 con tecniche tradizionali (LSC e MS) ed innovative quali la spettroscopia laser (CRDS).

1.4 Il Prossimo Exchange Forum -2016

Il VII Exchange Forum si terrà dal 25 al 26 Ottobre 2016 a Cordoba e avrà come di consueto i principali obiettivi di:

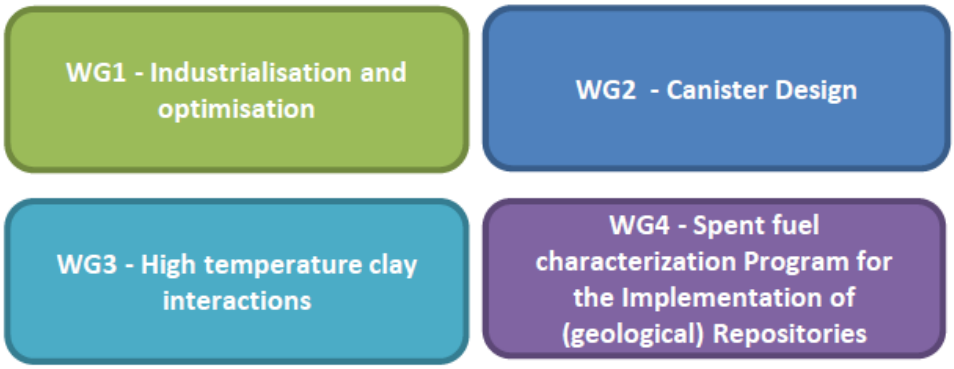
1. Portare avanti nuovi progetti nel quadro della realizzazione di attività già descritte nella SRA e nel DP,
2. Informare i partecipanti sulle attività dei gruppi di lavoro e dei progetti comunitari,
3. Sviluppare nuovi programmi di R&S sul coinvolgimento degli stakeholders.

Il Forum costituirà un'importante occasione per monitorare i risultati dei progetti terminati (BELBaR, LUCOEX e DOPAS) e lo stato di avanzamento di quelli in corso.

Quest'anno, in particolare, il Forum si focalizzerà sulle azioni necessarie ad una maggiore maturità delle tecnologie utilizzate nell'ambito del deposito geologico, per cui verrà data particolare importanza all'interazione fra WMO, TSO e istituti di ricerca.

Per quanto riguarda le sessioni parallele ci saranno quattro gruppi di lavoro tecnici:

- ***WG1: "Industrialisation and optimisation"***
- ***WG2: "Canister Design"***
- ***WG3: "High temperature clay interactions"***
- ***WG4: "Spent fuel characterization"***



1.5 La strategia europea in ambito H2020

Nel work programme di EURATOM H2020 2014-2015 sono stati finanziati progetti per un totale di 105,5 milioni €, di cui 16,3 per progetti dedicati alla gestione dei rifiuti radioattivi.

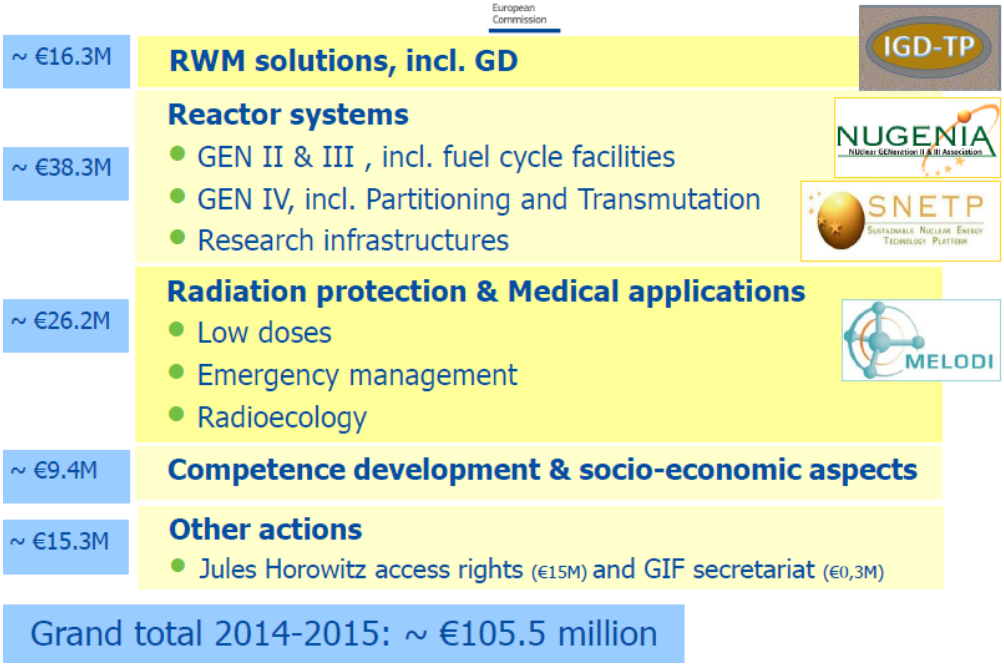


Figura 2 Dati relativi al work programme 2014-2015 di EURATOM H2020

(Christophe Davies- EC)

In ambito IGD-TP sono state ammesse al finanziamento 7 proposte (progetti JOPRAD, SITEX-II, CEBAMA, MIND, Modern2020, ANNETTE, HoNEST).

Project acronym and title	Key technical activities	Coordinator / no. partners	Start date & duration	Total cost / EU funding
JOPRAD – Towards a Joint Programming (JP) on Radioactive Waste Disposal	To study options for Joint Programming between national research programmes.	ANDRA (FR) 10 partners (5 countries)	June 2015 30 months	€1,78M / €1.1M CSA
SITEX-II – Sustainable network for Independent Technical Expertise for radioactive waste disposal – Interactions and implementation	To develop own strategic research agenda incl. civil society view, contribute to JP development , guidance & training on safety case review and prepare framework for sustainable network	IRSN (FR) 18 partners (11 countries + Canada)	June 2015 30 months	€1.48M / €1.17M CSA
CEBAMA – Cement-based materials, properties, evolution, barrier functions	To study processes at interface cement materials, bentonite and host rocks and impact on radionuclide transport and retention properties	KIT (DE) 27 partners (10 countries + Japan)	June 2015 48 months	€5,95/ €3.86M RIA (R&D)
MIND – Development of the safety case knowledge base about the influence of microbial processes on geological disposal of radioactive wastes	To study the behaviour of ILW-LL waste containing organics and the impact of microbial processes on the performance of HLW & SF in GD; Propose guidelines to communicate geomicrobiological risk	SKB (SE) 15 partners (8 countries)	June 2015 48 months	€4,71/ €4.16M RIA (R&D)
Modern2020 – Development and Demonstration of monitoring strategies & technologies for geological disposal	To develop framework, strategies, tech,gies & methods incl. civil society view for what should be monitored and how results & information can be used	ANDRA (FR) 28 partners (12 countries + Japan)	June 2015 48 months	€8,66/ €5.99M RIA (R&D)

Di questi progetti due sono specificatamente rivolti alla diffusione della conoscenza, al training e agli aspetti sociali:

ANNETTE – Advanced Networking for Nuclear Education and Training and Transfer of Expertise	European Master Programme in Nuclear Science &Technology, Vocational E&T, applying ECTS, ECVET in all nuclear fields (links with SNE-TP, IGD-TP, MELODI, EHRO-N, NUGENIA, EUTERP, HERCA and IAEA)	ENEN Association (FR) 27 partners (12 countries)	In negotiation 48 months	€3.17M / €2.51M CSA
HoNEST – History of Nuclear Energy and Society	To analyse, document & improve knowledge & understanding of factors which influenced successes and failures of developments of nuclear energy & other applications including the mechanisms of societal engagement with nuclear energy	UNIV. POMPEU FABRA (ES) 24 partners (12 countries)	Sept. 2015 36 months	€3.05M / €3.05M RIA (R&D)

Durante il primo semestre del 2016 sono state discusse a livello di Executive Group circa 10 proposte progettuali e ci si aspetta che almeno 6 di queste siano sottomesse alle call EURATOM H2020 2016-2017. Molte di queste proposte espandono il focus delle joint actions già in corso, dimostrando ancora una volta la capacità della piattaforma di revisionare le proprie priorità di ricerca, per riflettere meglio lo stato dei programmi nazionali degli stati membri, sia un punto di forza e di robustezza della piattaforma stessa. Nell'ambito delle priorità, rimane ovviamente strategico lo sforzo di trasferire le conoscenze dalla generazione che ha progettato il concetto del deposito e delle infrastrutture ad esso associate alle future generazioni che lo realizzeranno, lo utilizzeranno e lo chiuderanno.
Una chiave strategica della politica europea per la ricerca è quella di condurre ricerca scientifica eccellente con i migliori attori all'interno dell'unione europea; per questo motivo, nell'ambito del progetto europeo JOPRAD in corso, alcuni partecipanti della piattaforma IGD-TP hanno cominciato ad esplorare collaborazioni scientifiche con istituti di ricerca nazionale e con TSO coinvolte nel supporto tecnico scientifico agli enti regolatori.
Il work programme di EURATOM2020 per il biennio 2016-2017 è stato adottato dalla Commissione il 13 Ottobre 2015 e le call relative sono state pubblicate il 14 Ottobre 2015. Le aree tematiche del work programme 2016-2017 sono:

A. Support safe operation of nuclear systems
B. Contribute to the development of solutions for the management of radioactive waste
C. Foster radiation protection
D. Management of research reactor availability in Europe
E. Support the development of nuclear competences at EU level
F. Fission/fusion cross-cutting actions
G. Other actions (InnovFin, INCO)

In particolare l'area tematica B "Contribute to the development of solutions for the management of radioactive waste" fa chiaro riferimento alle priorità tematiche della piattaforma IGD-TP e comprende le seguenti call:

- Addressing key priority R&I issues for the first-of-the-kind geological repositories (NFRP6)
- Research and innovation on the overall management of radioactive waste other than geological disposal (NFRP7)
- Pan-European knowledge-sharing and development of competence in radioactive waste management (NFRP8)



Le tempistiche per la sottomissione e la valutazione del progetto sono tali per cui I primi progetti finanziati partiranno già entro Luglio 2017.

Event	Date
Call publication	14/10/2015
Submission tool opens	11/05/2016
Call deadline	05/10/2016
Evaluation	Oct.16 – Jan.2017
Information to applicants	01/02/2017
Grant preparations	Feb. – May 2017
Projects launch	June – July 2017

Figura 3 Date e scadenze della call EURATOM H2020 2016-2017

Questo work programme rappresenterà un momento di transizione verso il concetto della programmazione congiunta (Joint Programming, JP).
Con questo termine si intende il processo di valutazione ed inclusione delle priorità di ricerca e sviluppo svolto attraverso il confronto fra le tre comunità principali coinvolte (Waste Management Organization, TSO e enti regolatori) all'interno di ciascun paese membro e fra tutti i paesi membri stessi.
Per quanto riguarda IGD-TP, all'interno del Joint programming sono previste diverse azioni:

- Realizzazione di soluzioni per il deposito entro il 2025 da parte delle WMO (*attività già avanzata*)
- Ricerca e sviluppo orientata sulla safety per le competenze degli enti regolatori e revisione da parte delle TSO *(attività ancora in corso)*
- Ricerca a lungo termine da parte degli isituti di ricerca *(non esiste una strategia precedente, per cui sarà necessario molto lavoro)*
- Attività trasversali in aree tematiche che non sono di pertinenza di alcuna specifica organizzazione ma sono assolutamente importanti a livello europeo

(*non esiste una strategia precedente, né un accordo sullo scopo ultimo, per cui il lavoro da fare sarà molto)*

Per quanto riguarda l'ultima azione, la Commissione Europea ritiene di fondamentale importanza che sia assicurata, attraverso lo strumento del JP, un'adeguata gestione della conoscenza e una valutazione realistica degli aspetti socio-economici coinvolti, in quanto si dovrà affrontare il cambio generazionale, la necessità di istruire una nuova generazione di tecnici e ricercatori, la difficoltà di reperire informazioni esaustive e coerenti da parte dei nuovi ricercatori, la necessità di sostenere i programmi dei paesi membri meno avanzati.

2 I WORKING GROUP IN CORSO

2.1 WG1: "Novel thermal treatments for waste"

I trattamenti termici per l'immobilizzazione dei materiali radioattivi in una forma idonea allo stoccaggio nel deposito geologico sono stati tradizionalmente applicati a rifiuti, quali i materiali HLW come i liquidi di ri-processamento. Alcuni paesi (USA e recentemente la Gran Bretagna) hanno iniziato attività di ricerca e sviluppo su diversi tipi di trattamenti termici per rifiuti radioattivi tradizionalmente trattati con altri metodi (per esempio i fanghi ILW) o per i quali non è stato ancora sviluppata una specifica strategia per il deposito (es. i rifiuti contenenti Pu).
L'utilizzo di tali trattamenti permetterà non solo l'ottenimento di una forma di rifiuti altamente stabile, ma anche la riduzione in termini di volume e reattività chimica, (specie per i ILW con contenuto organico).
Durante il 6° EF è stata presentata una tecnica innovativa per il trattamento termico: THOR (Thermal Organic Reduction), che utilizza un processo di reforming su letto fluido. Le principali trasformazioni chimico-fisiche implicano:

• la decomposizione dei composti organici in CO2 e vapore acqueo H20
• la riduzione dei nitrati in vapore H2O, azoto gassoso N2 e CO2

Il processo opera a 650-830 °C ed utilizza un letto fluido di solidi granulari con vapore come vettore fluidificante; evita l'incenerimento e non produce esausti o effluenti liquidi; in questo modo cattura il 99,99% della radioattività nel prodotto solido finale.

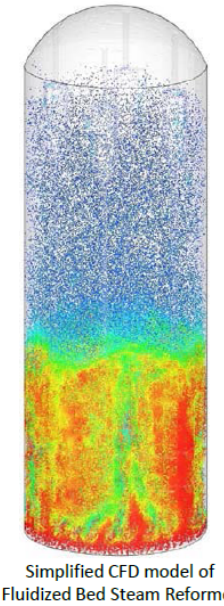


Figura 4 Modello semplificato della distribuzione del calore in letto fluido a vapore

I prodotti solidi ottenuti sono minerali silicati di alluminio-metalli alcalini, nelle cui cavità interne rimangono confinati i radionuclidi (Tc, Cs e I), i metalli alcalini, i solfuri, i cloruri e i fluoruri.
Il processo opera a temperature sufficientemente basse da evitare la vaporizzazione dei radionuclidi.

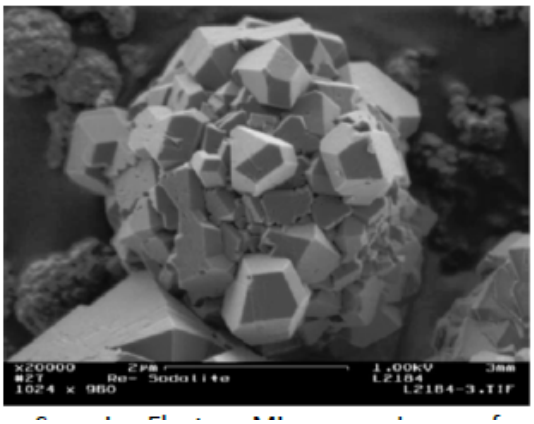




Figura 5 Tipica struttura di feldspati alcalini

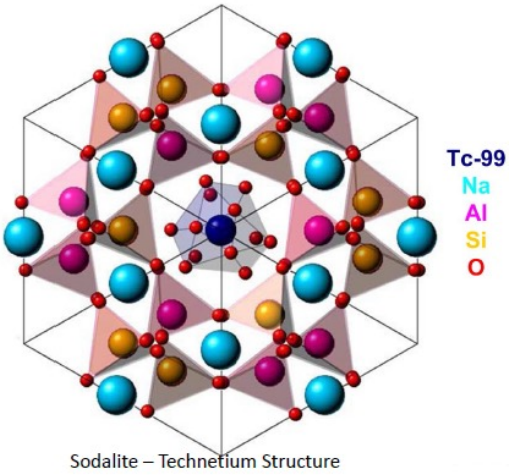


Figura 6 Schema della struttura minerale sodalite che incapsula il tecnezio

(immagini cortesemente messe a disposizione da Studsvik Nuclear AB, Svezia)

2.2 WG2: "Bentonite homogenization"

La bentonite è utilizzata in numerosi design di depositi europei come materiale tamponante, sigillante e riempitivo. Con il passare del tempo ci si aspetta un certo grado di bagnamento del materiale che ne consolida le proprietà meccaniche, ma tali proprietà necessitano un approfondita conoscenza della fenomenologia associata alla loro evoluzione temporale per poter verificare la sicurezza di un deposito geologico.



Figura 7 Sistema iniziale di riempimento con bentonite (omogeneo) – SKB Patrick Sellin

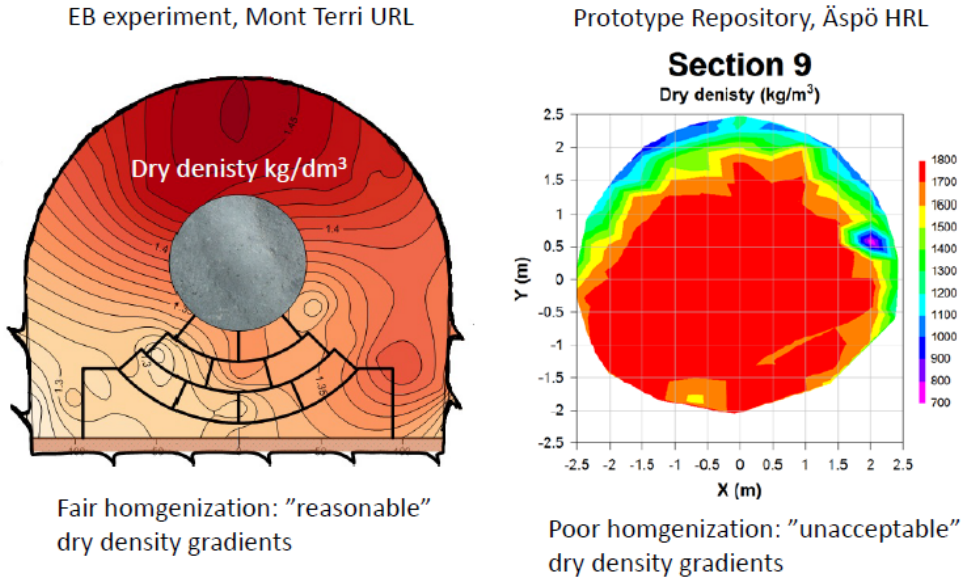


Figura 8 Evoluzione temporale del sistema di riempimento a bentonite dopo la saturazione, in due diversi esperimenti (Mont Terri e Aspo) – SKB Patrick Sellin

Nell'ambito del WG "Bentonite homogenization" è stato pertanto proposto di predisporre un progetto tecnico scientifico per studiare le performance di una barriera non omogenea di bentonite, le perdite di massa su lunga scala temporale e per valutare le condizioni necessarie affinché un sistema ingegneristico a base di bentonite si trasformi in una barriera funzionale al contenimento dei rifiuti nel tempo.

2.3 WG3: "Cement Organics Radionuclide Interactions"

I materiali organici sono presenti nei depositi di rifiuti radioattivi e potenzialmente ne influenzano la loro reattività e le loro caratteristiche chimico-fisiche. Soprattutto nel contesto dei LLW e ILW, la quantità e la speciazione chimica dei materiali organici aumenterà significativamente in base a quali sono i materiali additivi presenti nella matrice cementizia (quali super-plastificanti) usata nel deposito. Le condizioni altamente alcaline presenti nelle matrici cementizie potranno teoricamente aumentare l'impatto di alcuni composti organici sulle funzionalità del deposito. Il WG "Cement Organics Radionuclide Interactions", a cui partecipano 4 WMO e 16 istituti di ricerca, ha lavorato in questi anni per affrontare alcune tematiche relative alle interazioni fra la matrice cementizia, i composti organici e i radionuclidi presenti nel manufatto e ha deciso di dare priorità a 5 tematiche:

- *Inventario dei materiali organici presenti nei diversi paesi ed identificazione di quelli rilevanti ai fini della performance assessement*
- *Degradazione dei materiali organici (idrolisi e radiolisi)*

- Mobilità dei complessi organici-radionuclidi nell'ambiente cementizio ed interazioni con il Ferro
- Modellizzazione e applicazione alla performance assessment

Organic	Subgroup	Representation	Analogies
acids/alcohols and/or aldehydes C1-C2	Cationic and Anionic resins/ ^{14}C-bearing organic compounds	Short-chained acids, alcohols and /or aldehydes	Malonic, Succinic…
Adipic acid	PVC/PUR	Long-chained dicarboxylic acid	Glutaric, Pimelic, Suberic…
Phthalic acid	PVC	Aromaticdicarboxylic acid	Succinic
ISA	Cellulosic wastes	Hydroxicarboxylic acid	Citric, Gluconic
Acetic	PCE/CAE	Mono(poly)carboxylic acid	Formic, Butyric, Acetic
EDTA	Decontamination and cleaning	Aminocarboxylicacid	DTPA, NTA

Figura 9 Tabella rappresentativa dei possibili leganti organici presenti nei rifiuti radioattivi

Durante i lavori del working Group al 6° Forum è stato fatto notare che il progetto è ambizioso e pur esistendo già una parziale descrizione del progetto stesso ai fini della redazione di una proposta progettuale, non c'è ancora molta chiarezza sugli obiettivi comuni da parte dei partner principali che rappresentano le WMOS (Svezia, Germania, Francia). I diversi partner interessati continueranno quindi a lavorare su tali tematiche e la proposta progettuale è stata programmata per il 2018.

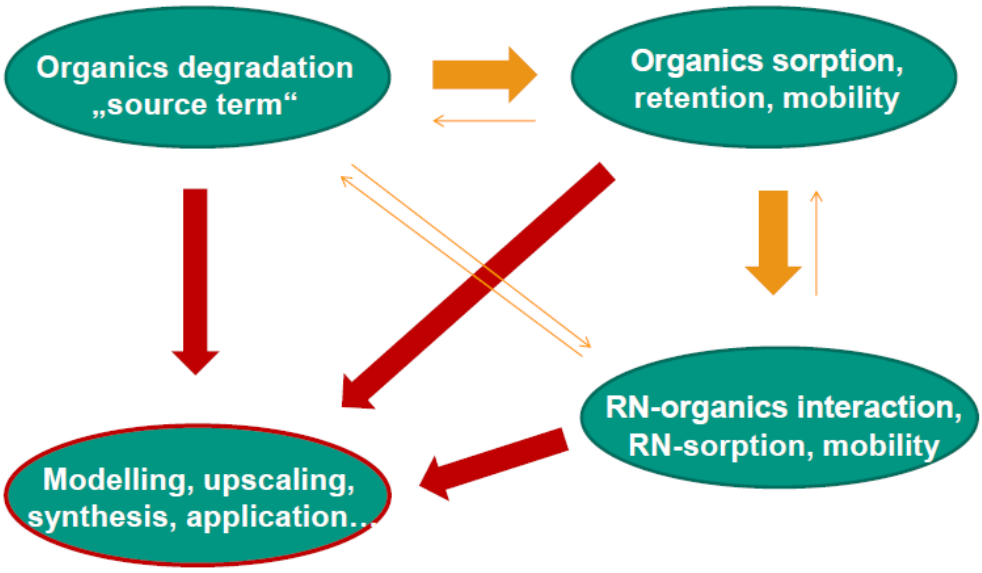


Figura 10 Schematizzazione delle tematiche principali del working group CORI

2.4 WG4: "Dissolution rate for spent fuels"

All'interno della Key Topic della SRA "Waste forms and their behaviour", è stato riscontrata la necessità di maggiore comprensione del comportamento del combustibile moderno nelle condizioni realistiche del deposito. In effetti, dal punto di vista tecnologico, c'è una tendenza a modificare le caratteristiche del combustibile per aumentarne il rendimento, quali per esempio l'aggiunta di dopanti a base di Cr, Al e Si (Cr_2O_3, Al_2O_3, SiO_2) e risulta quindi necessario conoscere il comportamento di questi combustibili nuovi nelle reali condizioni chimico-fisiche del deposito.

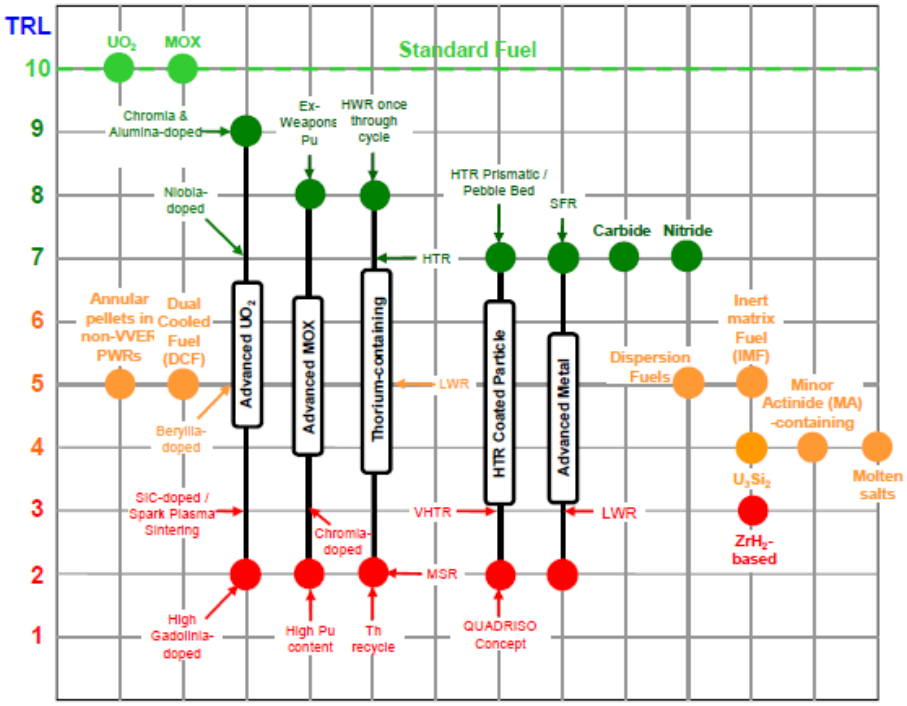


Figura 11 Evoluzione delle nuove tipologie di combustibile ed il loro Technology Readiness Level (TRL) – David Hambley SNTEP Meeting 2014

3 I PROGETTI H2020 di ENEA

3.1 Il progetto CAST - JA3 Waste forms and their behaviour -

Il progetto **CAST** (http://www.projectcast.eu/) (acronimo di "**CArbon-14 Source Term**) intende fornire dati per la valutazione del rilascio del 14C dalle varie matrici dei rifiuti radioattivi nel deposito geologico, attraverso lo studio dei meccanismi di generazione e di rilascio di diverse specie chimiche e considerando sia le condizioni di confinamento e di contenimento, che quelle chimico-fisiche dell'ambiente confinante.

Il progetto **CAST** è stato approvato dalla Commissione Europea, è iniziato il 1/10/2013 e durerà fino al 31/03/2018. I partecipanti sono in totale 33 ed il coordinatore è la Nuclear Decommissioning Authority inglese (NDA).

L'ENEA partecipa alle attività del progetto CAST, ed in particolare, ai WP4 (resine a scambio ionico), WP5 (grafite) e WP6 (Safety case Relevant).
Il progetto, nel 2015, è stato oggetto di revisione da parte di due revisori indipendenti, che ne hanno analizzato i risultati ed i progressi rispetto allo stato dell'arte.
La determinazione del termine sorgente di C14 nei rifiuti da conferire al deposito geologico richiede la conoscenza di:

- *Inventario radiologico (quantità, specie chimica, distribuzione del C14 nel rifiuto);*
- *Rilascio (la velocità ed il meccanismo di rilascio del C14 nell'ambiente)*
- *Trasporto/reattività (meccanismi di trasporto e le possibili reazioni nell'ambiente sia a corto raggio che a lungo raggio)*

3.1.1 C14 negli Acciai e leghe

Sono stati revisionate le velocità di corrosione degli acciai inossidabili e al carbonio in condizioni alcaline, notando che non esistono numerose informazioni sull'inventario di C14 negli acciai irraggiati, sulla natura chimica presente e sulla sua distribuzione fisica.
È stato inoltre suggerito di utilizzare come analoghi non attivati i carburi e i carbo-nitruri ed il loro meccanismo di corrosione.

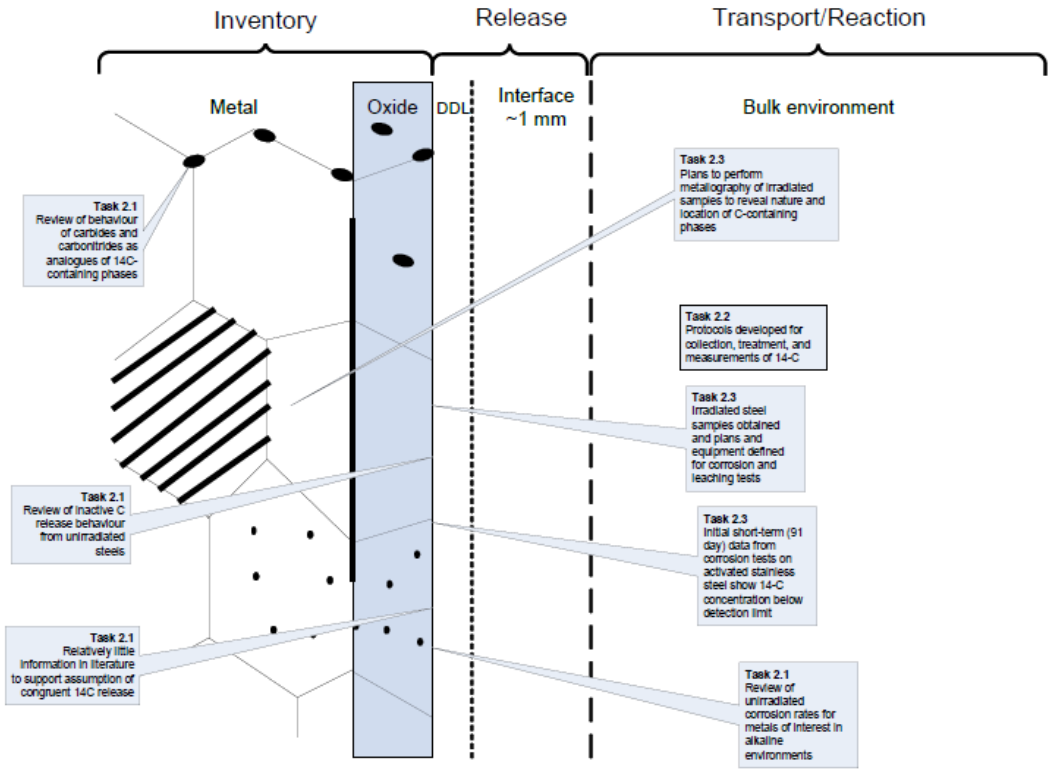


Figura 12 Schema di sintesi dei progressi relativi al termine sorgente di c14 negli acciai

(Dr. Fraser King Integrity Corrosion Consulting Limited)

L'analisi del comportamento degli analoghi potrà portare alla determinazione del rilascio "congruente", inteso come ipotesi standard di rilascio da utilizzare nella valutazione di safety assessment.

Per quanto riguarda le zircalloy, la sorgente principale di C14 deriva dall'attivazione delle impurezze di N14 naturalmente presenti nella lega; l'inventario di C14, pertanto, dipende dal contenuto di azoto e dal burn-up.
Negli ossidi, la sorgente principale di C14 deriva dall'attivazione di O17 presente nel combustibile o nell'acqua di raffreddamento. La concentrazione di C14 nell'ossido è approssimativamente il doppio rispetto al metallo sottostante e ciò implica che il C14 rilasciato dalla corrosione delle zircalloy può essere incorporato nell'ossido e non rilasciato direttamente in soluzione.
Per quanto riguarda il cladding, il rilascio avviene prima per corrosione del cladding stesso, poi per dissoluzione nell'ossido.

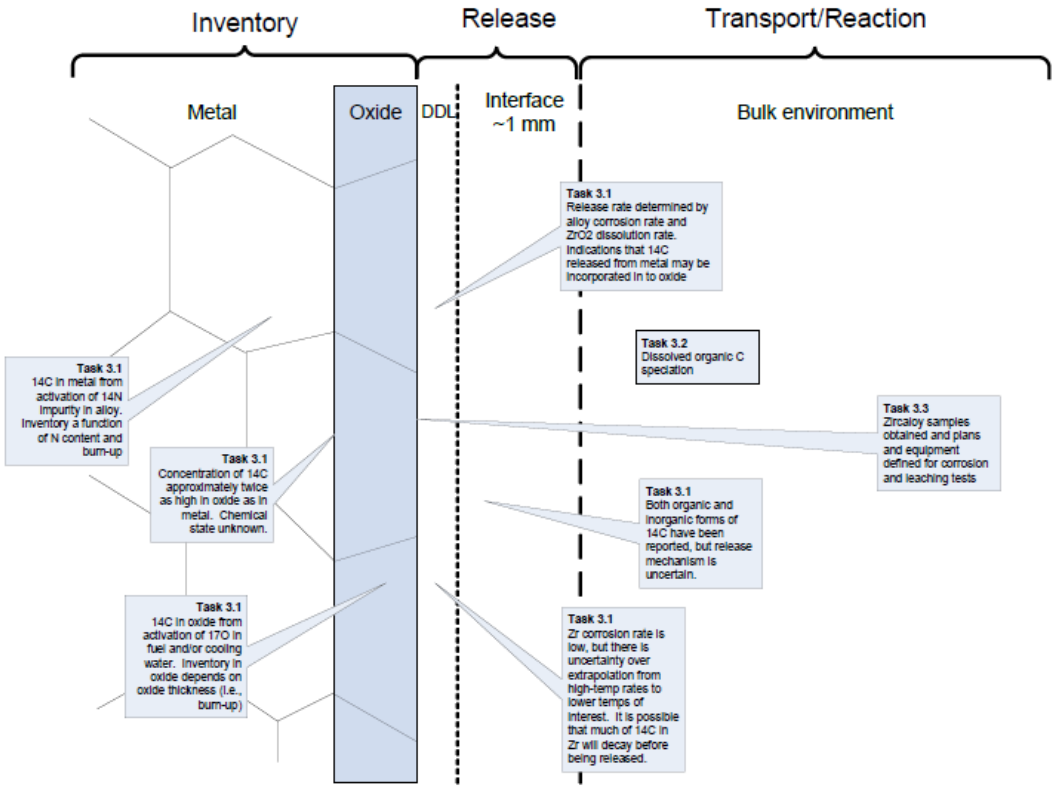


Figura 13 - Schema di sintesi dei progressi relativi al termine sorgente di C14 nelle zircalloy

(Dr. Fraser King Integrity Corrosion Consulting Limited)

3.1.2 C14 nelle resine a scambio ionico

Nelle resine a scambio ionico la distribuzione delle frazioni organiche (acidi carbossilici, composti aromatici, chetoni, alcoli…) ed inorganiche (essenzialmente carbonati) è risultato essere collegato al trattamento al quale esse vengono sottoposte; ad esempio nelle resine degli impianti nucleari svedesi la frazione organica è compresa fra 1-29%, ma nei campioni deidratatati sale al 90%.

Per quanto riguarda il rilascio di C14, è stato notato che il fattore di decontaminazione (cioè il rapporto fra l'attività del flusso entrante e quello uscente dal letto di resine a scambio ionico) potrebbe essere un indicatore utile per quantificarlo. Infatti pur essendo influenzato da diversi fattori, in ogni caso esso è una misura del grado di ritenzione di C14 nelle resine.

Le resine a scambio ionico sono state analizzate con tecniche microscopiche ed è stato rilevato un certo grado di degradazione, che potrebbe essere tipico delle condizioni di stoccaggio e potrebbe influenzare i meccanismi di rilascio di C14.

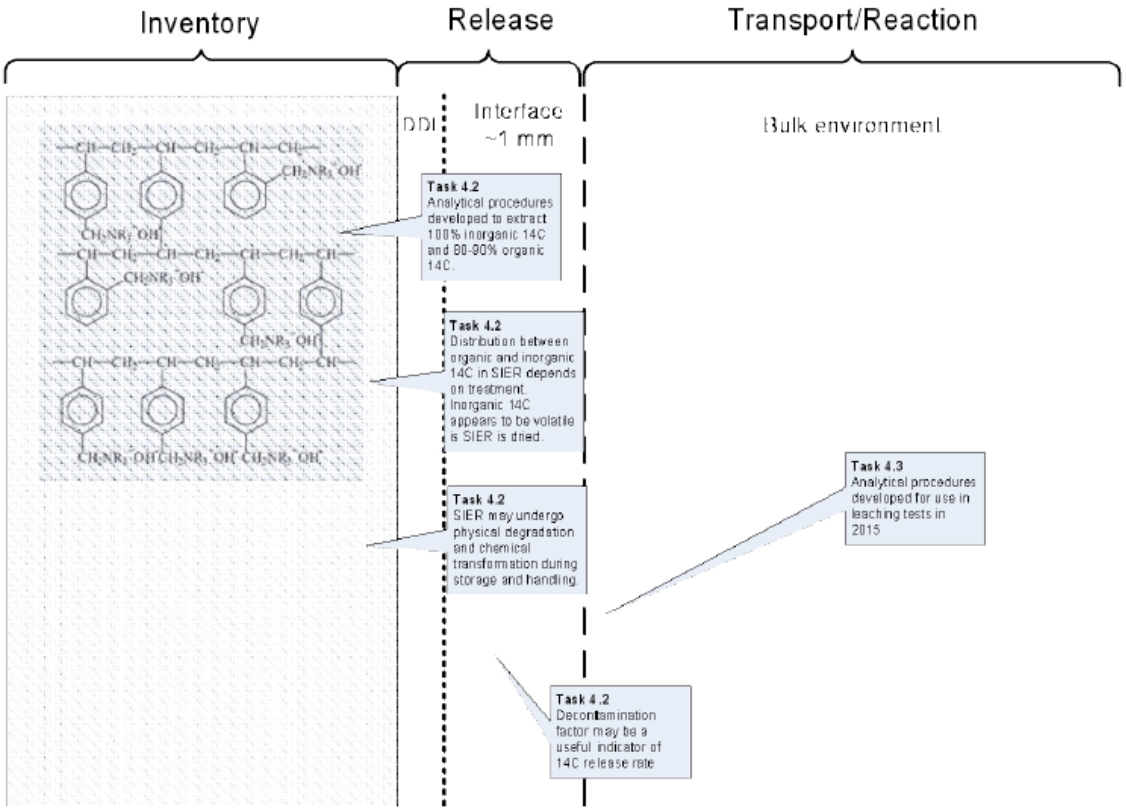


Figura 14 - Schema di sintesi dei progressi relativi al termine sorgente di C14 nelle resine a scambio ionico

(Dr. Fraser King Integrity Corrosion Consulting Limited)

3.1.3 C14 nella grafite

Il progetto CAST, per quanto riguarda la grafite, fonda le sue basi sul progetto europeo precedente, CARBOWASTE e su studi nazionali svolti in Germania e Gran Bretagna. Nonostante gli studi pregressi il meccanismo di rilascio del C14 è ancora non ben noto. Ci sono tuttavia evidenze che esista una maggior quantità di C14 nella fase liquida che in quella gas: nella fase liquida predominano le specie carbonatiche, ma è presente anche carbonio organico, nella fase gas predominano CO e CH4; in entrambe le fasi la velocità di rilascio diminuisce con il tempo.

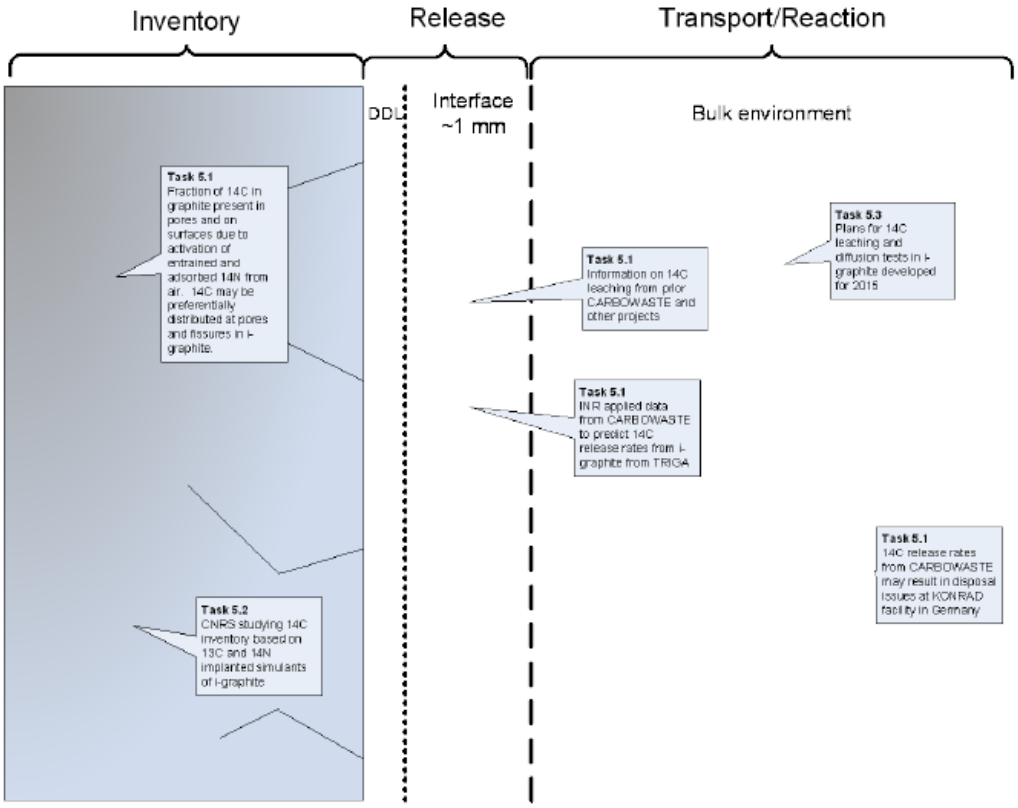


Figura 15 - Schema di sintesi dei progressi relativi al termine sorgente di C14 nella grafite

(Dr. Fraser King Integrity Corrosion Consulting Limited)

3.2 Il progetto MODERN2020 - JA 7 Monitoring Programme

Lo scopo del progetto collaborativo, denominato MODERN2020 - **Development and Demonstration of monitoring strategies and technologies for geological disposal** (www.modern2020.eu) è di dimostrare l'integrazione del programma di monitoraggio all'interno delle scelte strategiche e decisionali per la costruzione e l'operatività di un deposito geologico per i rifiuti radioattivi. ENEA ha fin dall'inizio contribuito ai lavori della JA7 e nel corso del 2015 ha contribuito come partner alla sottomissione di questo progetto.

Il coordinatore del progetto è la società francese responsabile della gestione dei rifiuti radioattivi ANDRA (L'Agence Nationale pour la gestion des déchets radioactifs) e partecipano altri 27 qualificati partners (Tabella 1), tra i quali solo l'ENEA, come ente pubblico, per l'Italia.

3.2.1 Strategie di monitoraggio

La progettazione di un sistema di monitoraggi deve prevedere un robusto processo decisionale che tenga conto del contesto nazionale e regolatorio, le incertezze associate ai metodi prescelti e la valutazione delle scelte operate.
Il piano di monitoraggio deve poi comprendere i dettagli del monitoraggio nelle fasi principali di realizzazione e di esercizio dell'opera, includendo quindi lo stato di riferimento, la fase operativa e la fase di post chiusura. Per ogni specifica fase dovranno essere indicati:

- I parametri da monitorare
- le tecnologie utilizzate e le motivazioni che hanno guidato la scelta di tali tecnologie
- i punti di monitoraggio e la strategia di campionamento spaziale e temporale
- la frequenza del campionamento

Ad Agosto 2016 è stato lanciato un test fra le WMO interessate per valutare in che modo il monitoraggio delle barriere ingegneristiche possa dare informazioni utili per il processo decisionale durante le fasi operative del deposito geologico. Ciascuna WMO partecipante elaborerà il proprio scenario sulla base del modello di deposito scelto dal proprio programma nazionale e, successivamente, si farà un lavoro di sintesi per estrapolare metodologie e strumenti per il processo decisionale. Le WMO attualmente interessate sono ANDRA (Francia), NAGRA (Svizzera), POSIVA (Finlandia), SKB (Svezia), DBE-TEC (Germania), NRG (Olanda), SURAO (Rep. Ceca).

3.2.2 Ricerca e sviluppo per le tecniche di monitoraggio

È stato realizzato un test di trasmissione di segnali wireless nel laboratorio sotterraneo di Tournemire, per valutare le reali performance dei sistemi di trasmissione wireless a scopo di monitoraggio. È stato pertanto predisposto un tunnel orizzontale di 600 mm di diametro e 10 m di lunghezza dotato di un sistema di barriere ingegneristiche, all'interno del quale potranno essere installate unità wireless a diversa frequenza di trasmissione.



Figura 16 Test di trasmissione nel laboratorio sotterraneo di Tournemire

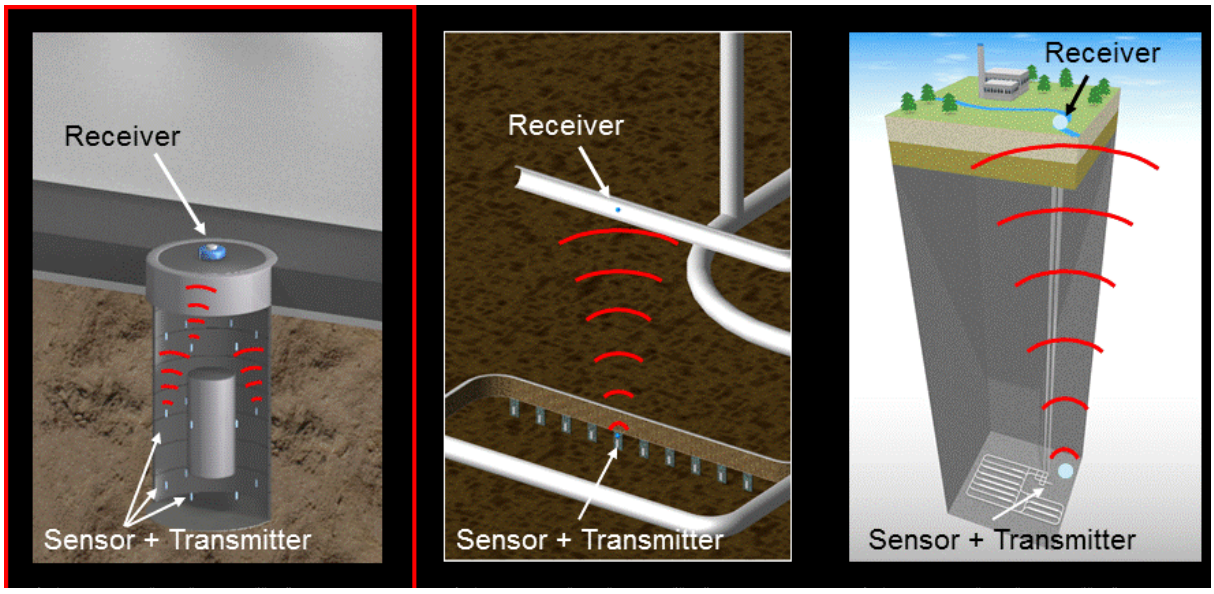


Figura 17 - Esempi di progettazione di sistemi di trasmissione wireless per MODERN2020

4 Considerazioni Conclusive

La piattaforma IGD-TP coinvolge ormai un grande numero di soggetti interessati alle attività per il deposito geologico per i rifiuti radioattivi. Lo sforzo ora successivo sarà quello di cercare di integrare le diverse strategie e necessità dei paesi partecipanti e di valutare il grado di maturità tecnica delle tecnologie coinvolte.
Nell'ambito delle priorità rimane ovviamente strategico lo sforzo di trasferire le conoscenze dalla generazione che ha progettato il concetto del deposito e delle infrastrutture ad esso associate alle future generazioni che lo realizzeranno, lo utilizzeranno e lo chiuderanno.

La partecipazione ai lavori della piattaforma, ed in particolare ai working groups, richiede un investimento in termini di risorse umane e strumentazioni che diventa sempre più necessario per poter partecipare attivamente alle attività di ricerca e sviluppo e per poter essere identificati come potenziali partner di proposte progettuali. ENEA tramite la partecipazione ai lavori di piattaforma è riuscita a partecipare ad una proposta progettuale nell'ambito del work programme 2016-2017 di EURATOM H2020, di cui saranno noti i risultati della selezione ad inizio 2017.

ELENCO DELLE ABBREVIAZIONI

CRDS	Cavity Ring Down Spectroscopy
DP	Deployment Plan
EC	European Commission
EF	Exchange Forum
EG	Executive Group IGD-TP
FP7	European Framework Programme 7
HLW	High Level Wastes
IEP	Information Exchange Platform
ILW	Intermediate Low Level Wastes
JA	Joint Action
LLW	Low Level Wastes
LSC	Liquid Scintillation Counting
MS	Mass spectometry
ORWG	Organisational working group
R&D	Research and Deveopment
SRA	Strategic Research Agenda
TEP	Technical Project Group
TSO	Technical Support Organization
TSWG	Technical Scientific Working Group
WG	Working Group
WMOs	Waste Management Organizations

BIBLIOGRAFIA

1. IGD TP, . *VISION REPORT.* s.l. : European Commission - EURATOM, 2009.

2. IGD TP. *Strategic Research Agenda.* 2011.

3. IGD TP. *RD&D Planning Towards Geological Disposalof Radioactive Waste - Guidance for less-advanced Programmes, 2015*

4. IGD TP web page. [Online] http://www.igdtp.eu/index.php/participants.

5. A. Luce, A. Rizzo , G. Glinatsis, R. Lo Frano, ENEA, 2013. RSE- ADPFISS – LP1 – 038