



Ricerca di Sistema elettrico

# Rapporto di sintesi sulla diffusione dei risultati

Federico Rocchi

## RAPPORTO DI SINTESI SULLA DIFFUSIONE DEI RISULTATI

Federico Rocchi (ENEA)

Dicembre 2018

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Area: Generazione di Energia Elettrica con Basse Emissioni di Carbonio

Progetto: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare e collaborazione ai programmi internazionali per il nucleare di IV Generazione.

Linea: Sviluppo competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare

Obiettivo: Diffusione dei risultati

Responsabile del Progetto: Federico Rocchi, ENEA

**Titolo**

Raccolta e diffusione dei risultati conseguiti nel PAR2018, linea progettuale relativa allo sviluppo di competenze scientifiche nel campo della sicurezza nucleare.

**Descrittori**

Tipologia del documento: Rapporto Tecnico

Collocazione contrattuale: Accordo di programma ENEA-MiSE: Piano Annuale di Realizzazione 2016, Linea Progettuale 1, Obiettivo D: Diffusione dell'informazione sulle attività svolte nella Linea Progettuale finalizzata allo Sviluppo Competenze Scientifiche nel campo della Sicurezza Nucleare.

Argomenti trattati: Tematiche di Safety, Security e Sostenibilità nel campo della Fissione Nucleare. Seminari e Congressi.

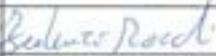
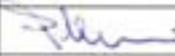
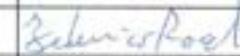
**Sommario**

Vengono descritte le principali attività di diffusione dell'informazione e i risultati conseguiti nel Piano Annuale di Realizzazione 2018, progetto B.3: "Sviluppo Competenze Scientifiche nel Campo della Sicurezza Nucleare e Collaborazione ai Programmi Internazionali per il Nucleare di IV Generazione", Linea Progettuale 1: "Sviluppo Competenze Scientifiche nel Campo della Sicurezza Nucleare".

**Note**

Copia n.

In carico a:

2			NOME			
			FIRMA			
1			NOME			
			FIRMA			
0	EMMISSIONE	27/02/2019	NOME	F. Rocchi	P. Meloni	F. Rocchi
			FIRMA			
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

## Sommario

1.	Introduzione .....	3
2.	Struttura Organizzativa della Linea Progettuale 1, PAR2018 .....	3
2.1	Obiettivo a.1 .....	4
2.2	Obiettivo b.1.....	4
2.3	Obiettivo b.2.....	5
2.4	Obiettivo c.1 .....	5
2.5	Obiettivo c.2.....	6
3.	Publicazioni esterne prodotte come risultato delle attività svolte nel PAR2018 .....	7
4.	Conclusioni .....	7

## 1. Introduzione

In questo documento è riportata la sintesi delle attività programmate e svolte nel PAR2018, progetto B.3:” Sviluppo Competenze Scientifiche nel Campo della Sicurezza Nucleare e Collaborazione ai Programmi Internazionali per il Nucleare di IV Generazione”, Linea Progettuale 1: “Sviluppo Competenze Scientifiche nel Campo della Sicurezza Nucleare”.

Il lavoro punta a rendere disponibili i seguenti prodotti e attività:

- Analisi e verifiche di sicurezza (safety & security) e sostenibilità dei sistemi nucleari e relativi cicli del combustibile.
- Attrezzature, prove sperimentali, modelli, programmi e strumenti di calcolo con modelli validati per le verifiche di sicurezza (safety e security) e di sostenibilità del nucleare da fissione.

Tutto ciò al fine di contribuire ulteriormente allo sviluppo ed al mantenimento delle competenze e delle infrastrutture tecniche e scientifiche necessarie per procedere all’analisi di sicurezza degli impianti nucleari attuali, con particolare attenzione alle possibili ricadute per l’Italia, e per verificare, con competenza e indipendenza di giudizio, il livello qualitativo e lo sviluppo degli impianti nucleari di nuova generazione.

La forma di divulgazione più concreta, immediata e diretta, già consolidata nei precedenti PAR, è consistita nell’emissione di 6 rapporti tecnici (incluso il presente) nel sistema di Garanzia di Qualità ENEA, in cui sono raccolti i risultati delle ricerche condotte nei 3 mesi di riferimento, con inizio 1 ottobre 2018 e fine 31 dicembre 2018. Da tali rapporti saranno tratti altrettanti rapporti tecnici RdS.

La diffusione dell’informazione scientifica è stata favorita dalla stretta collaborazione con il consorzio interuniversitario CIRTEN.

I ricercatori impegnati nella LP1 hanno prodotto memorie scientifiche pubblicate su riviste nazionali e internazionali ed hanno partecipato a convegni, simposi, seminari e conferenze. Tutta la documentazione tecnica prodotta in ambito PAR è di libera consultazione e ad essa si può accedere per le informazioni tecniche di dettaglio sugli specifici argomenti, qui trattati in modo più divulgativo.

## 2. Struttura Organizzativa della Linea Progettuale 1, PAR2018

Nel PAR2018 le attività sono state organizzate attorno a 6 obiettivi:

- a.1 Dati nucleari per la sicurezza reattore: Analisi preliminare della nuova sezione d’urto di cattura neutronica per  $^{157}\text{Gd}$ ;
- b.1 Attività di interconfronto tra codici di trasporto atmosferico per la preparazione e la risposta alle emergenze nucleari;
- b.2 Implementazione su calcolatore parallelo di metodi e codici per le analisi di sensibilità ed incertezza nel calcolo di incidenti severi;
- c.1 Validazione e verifica di codici TH e relativi modelli per studi e valutazioni di sicurezza.

- c.2 Approfondimento di prove sperimentali per la simulazione del comportamento di un sistema passivo con scambiatore a baionetta per la rimozione del calore di decadimento;

## 2.1 Obiettivo a.1

Questo Obiettivo ha avuto come scopo iniziare le attività di validazione delle nuove sezioni d'urto di cattura radiativa per gli isotopi dispari del Gadolinio prodotte nelle tre precedenti annualità dell'Accordo di Programma. Come già noto dalle precedenti annualità, una rivalutazione delle proprietà di cattura per gli isotopi dispari del Gadolinio è di capitale importanza sia per l'operazione in sicurezza dei reattori nucleari attuali, sia per la stima dei margini di sicurezza dei sistemi di stoccaggio temporaneo in piscina per gli elementi di combustibile esausti, sia per una migliore performance economica del ciclo del combustibile nucleare. Pertanto questa attività ha assunto nel tempo un connotato di estremo rilievo e carattere di punta tra quelle svolte all'interno dell'Accordo di Programma. ENEA ha potuto sviluppare collaborazioni internazionali bilaterali e multilaterali con partner stranieri (IRSN, CEA, OECD/NEA, JRC, ecc.) a partire dalla posizione di vantaggio ottenuta grazie alle attività dell'Accordo di Programma. In questo trimestre è stato possibile iniziare le multiformi attività di validazione del prodotto ottenuto. In particolare ci si è concentrati in un'analisi preliminare delle caratteristiche di uno dei benchmark sperimentali ritenuto maggiormente importante per l'assessment delle sezioni d'urto del Gadolinio, ovvero gli esperimenti condotti tra il 2012 ed il 2014 nel reattore da ricerca canadese Zed-2. È stata effettuata una simulazione con dati ENDF/B del sistema reattore nelle condizioni ideali per valutare le nuove sezioni d'urto di cattura. I risultati preliminari ottenuti hanno mostrato come purtroppo i soli dati pubblicati non siano bastevoli ad un assessment corretto di una qualsivoglia valutazione di sezioni d'urto di cattura. Sembra infatti che i risultati pubblicati siano riottenibili solo utilizzando sezioni d'urto per Uranio, Idrogeno, Deuterio ed Ossigeno tarate sul sistema Zed-2 e non disponibili alla comunità scientifica internazionale. Il bias che si introduce nei risultati ricorrendo ai set di valutazioni ENDF/B è tale purtroppo da mascherare le eventuali migliorie legate a nuove sezioni d'urto di cattura per il Gadolinio. Pertanto, in futuro, prima di utilizzare tale importante benchmark sperimentale, sarà necessario dotarsi delle librerie di dati nucleari di base per poter riprodurre correttamente lo stato imperturbato del reattore.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nel rapporto tecnico **RdS/PAR2018/119 - Dati nucleari per la sicurezza reattore: Analysis of the ZED-2 reactor for the benchmarking of the newly measured Gadolinium capture cross-sections.**

## 2.2 Obiettivo b.1

L'Obiettivo b.1 ha avuto come scopo iniziare una fondamentale attività di interconfronto tra codici di trasporto atmosferico per la dispersione di materiale radioattivo rilasciato a seguito di un ipotetico incidente nucleare. Tale attività richiederebbe certamente uno sforzo molto maggiore ed un impegno pluriennale, tuttavia è stato utile poter disporre di una serie di dati preliminari, derivanti dal confronto dei risultati di tre codici di calcolo, che potranno essere usati in futuro per orientare, focalizzare ed indirizzare meglio gli sforzi di ricerca. Sono stati utilizzati i seguenti codici di calcolo: IdX (euleriano, dati MeteoFrance), Flexpart (lagrangiano, dati ECMWF) e Calpuff (gaussiano a puff, dati ECMWF). Si è ipotizzata un'emissione istantanea di  $^{137}\text{Cs}$  dal sito nucleare svizzero di Goesgen, si è ipotizzata una data di emissione,

e si sono confrontati i risultati ottenuti dai tre codici in termini di mappe di deposizione totale al suolo e dell'andamento temporale della cumulata della deposizione totale al suolo sulla città di Trieste (ovvero del tempo di arrivo della nube radioattiva).

La conclusione generale è che i dati meteo sembrano giocare un ruolo minore nel produrre discrepanze nei risultati, rispetto ai parametri di modellizzazione introdotti nei singoli codici, soprattutto per quanto riguarda i modelli di deposizione (secca ed umida) e le eventuali velocità di deposizione adottate. Altra importante fonte di discrepanza è ovviamente lo user effect che, nonostante le caratteristiche di relativa semplicità dell'interconfronto proposto, ha comunque avuto un grosso impatto sui risultati finali.

L'attività è stata condotta con l'Università di Palermo che ha fornito i risultati dei calcoli con il codice Calpuff, mentre ENEA ha fornito i risultati prodotti con i codici IdX e Flexpart.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nel rapporto tecnico **RdS/PAR2018/120 - Interconfronto tra codici di trasporto atmosferico di diversa tipologia per la valutazione delle conseguenze radiologiche di un incidente nucleare con rilascio in atmosfera.**

## 2.3 Obiettivo b.2

Questa attività è consistita nell'implementazione sul calcolatore parallelo di ENEA CRESCO 6 di una versione Linux del codice MELCOR per il calcolo degli incidenti severi in LWR, e del codice per il calcolo di Sensitività ed Incertezza RAVEN. Quest'ultimo codice controlla l'esecuzione automatizzata di numerose istanze di uno stesso file di input di MELCOR in cui un dato parametro è variato randomicamente (o con legge specificata dall'utente) all'interno di un range di variabilità. RAVEN poi raccoglie i dati di output delle varie istanze ed analizza l'eventuale correlazione presente tra input ed output e calcola la sensitività di un dato output ad un dato parametro di input. Si tratta quindi dell'implementazione di una metodica di calcolo BEPU (Best-Estimate Plus Uncertainty) che al giorno d'oggi è ritenuta estremamente importante anche dagli Enti Regolatori. L'implementazione su CRESCO 6 è stata fatta con la collaborazione di Università di Roma. Essa è poi stata verificata mediante run accoppiato RAVEN/MELCOR ricorrendo ad un input deck per MELCOR predisposto da ENEA nella precedente annualità dell'Accordo di Programma (Unità 1 di Fukushima Daiichi). L'analisi di sensitività è consistita in 600 calcoli MELCOR. Il test ha fornito gli stessi risultati prodotti precedentemente su un cluster parallelo dell'Università di Roma, a conferma e garanzia della corretta installazione ed esecuzione accoppiata di entrambi i codici.

I risultati ottenuti sono sintetizzati nel rapporto tecnico **RdS/PAR2018/121 - Implementazione su calcolatore parallelo di piattaforma di calcolo per analisi di incertezza basata sul codice RAVEN.**

## 2.4 Obiettivo c.1

Questo Obiettivo è stato finalizzato alla predisposizione di un Benchmark internazionale di calcolo, attualmente in corso di svolgimento tra i membri del "Working Group on Analysis and Management of Accidents (WGAMA)" del CSNI dell'OECD/NEA, sotto il coordinamento di ENEA. L'attività è inquadrata all'interno dello Status Report on thermal-hydraulic Passive Systems Design and Safety Assessment. Si tratta di un Benchmark di termoidraulica basato sui dati di uno dei test sperimentali (Test 7) realizzati nel 2003 sulla facility PERSEO di SIET SpA. La facility simulava un sistema per la rimozione del calore di decadimento di un reattore tramite

circolazione naturale e l'implementazione di un condensatore in piscina. I dati sperimentali disponibili sono utilizzati per la verifica e la validazione di codici termoidraulici in relazione alle problematiche tipiche dei sistemi di sicurezza passivi. La tematica è di forte interesse a livello internazionale per le attività di verifica di sicurezza di reattori di Gen. III+ o degli SMR attualmente in fase di sviluppo e pre-licensing. Quest'attività ha consentito quindi ad ENEA di giocare un ruolo di primo piano in Europa essendo uno dei pochi partner di ricerca a disporre di dati sperimentali per la validazione dei codici di termoidraulica per sistemi di sicurezza passivi.

L'attività è stata condotta con la collaborazione del Politecnico di Torino ed i risultati sono raccolti nel rapporto **RdS/PAR2018/122 - Description of PERSEO Test n. 7 for International Open Benchmark Exercise.**

## 2.5 Obiettivo c.2

A partire dalla terza annualità del PAR 2012-2014, i laboratori SIET di Piacenza hanno ospitato una serie di campagne sperimentali sulla sezione di prova HERO-2 a due tubi a baionetta paralleli allo scopo di acquisire dati di base per la caratterizzazione dei tubi a baionetta e sulla opportunità del loro impiego come generatore di vapore in reattori di tipo SMR. La sezione di prova HERO-2 era stata messa a disposizione da ENEA, mentre SIET si era occupata del montaggio e la realizzazione delle prove. Nell'intercapedine tra i due tubi si realizza la generazione di vapore. Dopo una prima campagna svolta in circuito aperto e volta alla caratterizzazione dello scambio termico e delle condizioni di instabilità dei due tubi in parallelo, nella prima annualità del PAR 2015-2017 si era provveduto alla chiusura del circuito attraverso la connessione con un tubo di condensazione immerso in piscina per il trasferimento del calore al pozzo termico, e all'esecuzione di una nuova campagna sperimentale mirata a caratterizzare il comportamento della sezione di prova HERO-2 in circolazione naturale. Scopo della campagna sperimentale era lo studio del comportamento termoidraulico di un sistema di raffreddamento di emergenza per la rimozione passiva del calore di decadimento in condizioni rappresentative di reattori SMR ad acqua pressurizzata. Le prove sono state condotte in regime stazionario. Nella seconda annualità PAR2016 era stata condotta una campagna di approfondimento volta a comprendere le cause del comportamento oscillatorio che si era manifestato in alcuni test a circuito aperto, dimostrando che espandendo il volume comprimibile in uscita alla test section, queste si smorzavano ma non completamente, mostrando con una certa probabilità una fenomenologia intrinseca alla sezione di prova. Nella terza annualità PAR2017 si è continuato con un approfondimento volto alla caratterizzazione delle dispersioni termiche, implementando nuova strumentazione, affinando le procedure di prova e provvedendo a stazionari prolungati. Sono stati condotti test in regime transitorio con lo scopo di verificare lo startup della circolazione naturale in caso di eventi incidentali. I dati prodotti in circuito aperto e chiuso del PAR2017 sono stati l'oggetto di analisi post-test con l'ausilio del codice termoidraulico di sistema RELAP5, sfruttando anche l'analisi post-test ottenuta dalla prima campagna sperimentale di caratterizzazione del componente che ha permesso la messa a punto del modello della sezione di prova e del modello di circuito chiuso sviluppato nella seconda annualità. Nella presente annualità, PAR2018, prima di effettuare ulteriori test sperimentali si è preferito procedere con un approfondimento numerico attraverso una prima analisi dei test transitori condotti da SIET allo scopo di verificare lo start-up della circolazione naturale in caso di eventi incidentali, con commutazione dalla configurazione a circuito aperto e circolazione forzata a circuito chiuso, grazie a tre valvole rapide installate allo

scopo. L'analisi numerica in condizioni dinamiche è un passaggio obbligato per lo sviluppo di codici termoidraulici e dei modelli di simulazione per la valutazione delle performance di uno scambiatore a baionette per la rimozione del calore di decadimento in condizioni rappresentative di un reattore SMR ad acqua pressurizzata.

I risultati di questa attività sono raccolti nel rapporto **RdS/PAR2018/123 - Approfondimento di prove sperimentali per la simulazione del comportamento di un sistema passivo con scambiatore a baionetta per la rimozione del calore di decadimento.**

### **3. Pubblicazioni esterne prodotte come risultato delle attività svolte nel PAR2018**

Si riporta di seguito l'elenco delle pubblicazioni prodotte durante i 3 mesi del PAR2018.

A. Donateo, P. Buffa, D. Contini, A. Cervone, C. Lombardo, F. Rocchi, Dry deposition processes on urban and suburban surfaces: modelling and validation works, sottomesso a Atmospheric Environment.

A. Bersano, N. Falcone, C. Bertani, M. De Salve, F. Mascari, C. Lombardo, Validation of RELAP5-3D thermal-hydraulic code against full-scale PERSEO Test 9, sottomesso alla conferenza internazionale ICAPP 2019 – International Congress on Advances in Nuclear Power Plants.

M. Polidori, P. Meloni, C. Lombardo, A. Achilli, C. Congiu, G. Cattadori, Test Campaign and RELAP5 Post-Test Analysis on the Bayonet Tube HERO-2 Component, sottomesso alla conferenza internazionale ICAPP 2019 – International Congress on Advances in Nuclear Power Plants.

### **4. Conclusioni**

Le attività condotte dai ricercatori ENEA nella LP1 hanno permesso di partecipare e sviluppare attività a livello internazionale, mirate alla sicurezza (safety e security) degli impianti nucleari e delle installazioni sensibili del settore.

Sulla base di quanto riportato, l'ENEA mantiene ancora oggi nel settore nucleare un notevole patrimonio di conoscenze scientifiche nella ricerca e sviluppo per quanto riguarda la fissione nucleare ed è coinvolta, a livello internazionale, in progetti di ricerca sulla sicurezza operativa dei reattori attuali e di prossima generazione, in particolare di quelli di piccola e media taglia (SMR). L'ENEA, inoltre, partecipa ai programmi di sviluppo della sicurezza nucleare dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) e dell'Agenzia per l'Energia Nucleare dell'OCSE (NEA) ed è membro dell'Associazione per la Sicurezza dei reattori in operazione (NUGENIA). Da novembre 2016 ENEA è anche membro effettivo dell'associazione European Technical Safety Organization Network (ETSON).

 <b>Ricerca Sistema Elettrico</b>	<b>Sigla di identificazione</b> ADPFISS-LP1-131	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag.</b> 8	<b>di</b> 8
--	--	------------------	----------------------	------------------	----------------

Le attività di R&D nei suddetti settori ed organismi internazionali ed i risultati scientifici nel campo della sicurezza nucleare, consentiranno ulteriori sinergie a livello europeo che a loro volta consentiranno ad ENEA di svolgere appieno i compiti istituzionali affidatigli.