

Sergio Manera<sup>1</sup>, Michele Prata<sup>1</sup>, Bárbara Smilgys<sup>2</sup>

## Rischio espositivo per i lavoratori e misure di prevenzione in condizioni ordinarie e di emergenza

<sup>1</sup> L.E.N.A. - Laboratorio Energia Nucleare Applicata, Università degli Studi di Pavia, Via Aselli 41, 27100 Pavia (PV), Italy

<sup>2</sup> Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Pavia, Via Bassi 6, 27100 Pavia (PV), Italy

**RIASSUNTO.** La valutazione del rischio radiologico e la definizione del programma di sorveglianza fisica della radioprotezione applicata alla realtà di un reattore nucleare di ricerca da 250 kW termici esercito da un grande ente pubblico italiano. Elementi utili per la prevenzione delle esposizioni del personale, criteri di classificazione dei lavoratori, modalità di riduzione del rischio e ottimizzazione delle esposizioni, criticità più comuni nelle attività dell'impianto.

Analisi delle principali operazioni connesse alle attività di irraggiamento e ricerca scientifica con un occhio alle esigenze dei ricercatori e uno alle indicazioni di prevenzione. Metodiche consolidate di intervento per le attività ordinarie e per le situazioni di emergenza. Esame dettagliato dei possibili eventi imprevedibili o iniziatori di incidenti fermandosi alla definizione dei termini sorgente relativi ad emergenze interne all'impianto. Cause di origine nucleare e cause convenzionali di incidente. Analisi delle conseguenze radiologiche. Indicazioni di per la difesa in profondità e il monitoraggio di lungo termine della salute dei lavoratori, popolazione e ambiente.

**Parole chiave:** barriere protettive, difesa in profondità, monitoraggio, radioprotezione.

**ABSTRACT.** *The radiological risk assessment and the definition of the radioprotection physical surveillance program applied to a 250 kW (thermal power) research nuclear reactor operated by a large Italian public body. Useful elements for the prevention of personnel exposures, classification criteria for workers, risk reduction methods and optimization of exposures, most common criticalities in plant activities.*

*Analysis of the main operations related to the activities of irradiation and scientific research with an eye to the needs of researchers and one to the indications of prevention. Consolidated intervention methods for ordinary activities and for emergency situations. Detailed examination of the possible unforeseen events or accidents initiators, stopping the assessment at the definition of the source terms related to emergencies inside the plant. Nuclear and conventional causes of accidents and analysis of the radiological consequences. Indications for in-depth-defense and long-term monitoring of the safety of workers, individuals of population and the environment.*

**Key words:** protective barriers, defense in depth, monitoring, radioprotection.

### Introduzione

In questa breve sintesi della presentazione del 30 maggio 2019 si intende ripercorrere le ragioni della scelta del materiale da esporre per meglio far comprendere il punto di vista dell'Esperto Qualificato incaricato per la Sorveglianza Fisica della radioprotezione presso un reattore nucleare classe TRIGA, esercito da un grande ente pubblico (Università di Pavia). Si tratta infatti di un punto di vista particolare ed atipico rispetto alle considerazioni ordinarie relative al mestiere dell'Esperto Qualificato che lavora presso strutture che impiegano attrezzature a scopo diagnosi/terapia in ambito sanitario. Da questa atipicità si spiega il taglio quasi impiantistico di "Fisica dei reattori nucleari" che ha caratterizzato tutto il lavoro di scelta del materiale da presentare alla conferenza.

Dopo aver illustrato l'intenzione di dividere la presentazione in tre grossi blocchi (attività di routine, emergenze nucleari, emergenze non nucleari), si è portata la discussione sul cuore del problema di prevenzione del rischio espositivo presso un reattore nucleare, di taglio "piccolo" rispetto ad un impianto di potenza commerciale del tipo "Caorso". E cioè il meticoloso lavoro necessario a garantire le condizioni di sicurezza dell'impianto in qualsiasi condizione operativa, inclusi i malfunzionamenti e gli eventi inattesi. Quella regola definita delle 3C nella terminologia utilizzata in USA, controllo della potenza, raffreddamento del combustibile e contenimento dell'enorme inventario di radioattività del nocciolo e delle altre parti rilevanti dell'impianto.

### Corpo dell'articolo

Deve essere chiaro che il normale esercizio, le manutenzioni e anche la gestione di piccoli eventi inattesi pone problematiche di radioprotezione enormemente più contenute rispetto alla gestione di emergenze vere dovute al fallimento "impiantistico" di anche solo una delle tre regole sopra esposte. Problematiche che ovviamente devono essere viste nell'ottica del processo di ottimizzazione delle esposizioni anche se i normali valori di dose attribuita sono trascurabili rispetto ai pertinenti limiti derivanti dalla normativa. Lo provano le statistiche dosimetriche del per-

sonale, e per questo durante l'esposizione si passa in rassegna un sunto statistico delle dosimetrie e piccole contaminazioni personali avvenute nell'ultimo ventennio di esercizio presso il reattore di Pavia. Viceversa le condizioni di emergenza nucleare, tra l'altro rara o nulla per strutture che impiegano fonti radiogene in ambito sanitario, hanno un impatto non trascurabile sulla popolazione e l'ambiente circostante l'impianto, un impatto che può essere significativo dal punto di vista radiologico specie in relazione alla dispersione di alcuni inquinanti radioattivi particolarmente efficaci nel portare dose (il rischio espositivo si misura con la dose) a fasce della popolazione che più necessitano attenzioni e tutele, esempio i bambini, i lattanti, le donne in gravidanza, etc.

Con questa idea espositiva in mente la presentazione si dilunga sull'esame delle barriere protettive impiantistiche, sul loro significato e sulla loro difesa in profondità, mostrando quando e in che modo le stesse possano venir meno alla loro funzione in caso di incidente e come la radioattività confinata al loro interno possa sfuggire verso il personale in primis e poi verso la popolazione e l'ambiente. Si esaminano le barriere tempo e distanza, gli effetti del riparo al chiuso e dei contenimenti dinamici di aeriformi e si termina con l'osservazione che anche i DPI sono barriere e che il corpo umano stesso ha un funzionamento a barriere di non trascurabile efficacia. Tutto il discorso porta l'attenzione all'esame dell'esposizione del personale (ma anche della popolazione e dell'ambiente) come un percorso di dispersione, attraversamento di barriere sino a raggiungere i bersagli biologici importanti per la radioprotezione, siano essi individui, organi o parti di essi.

Il LENA ha un reattore nucleare di ricerca circa 200.000 volte più "piccolo" di una centrale per elettroproduzione, ad esempio l'impianto ad acqua bollente di Caorso. A questo risultato si arriva facilmente con considerazioni che riguardano la quantità di combustibile, la potenza termica di esercizio, l'inventario di radioattività e i fattori di utilizzo su base annua. Nondimeno la normativa italiana in materia di impianti nucleari parifica tagli così diversi di macchine, per lo meno per alcuni aspetti importanti di sorveglianza ambientale e necessità di un piano di emergenza esterno.

All'interno dell'impianto la valutazione del rischio radiologico è sviluppata sulla base dell'esame dei campi di radiazione individuabili e quantificabili. Radiazione elettromagnetica e neutronica ad ampio spettro di energia, prodotti di attivazione residua neutronica e protonica, frammenti di fissione sono oggetto della valutazione. Si ritrovano radionuclidi di emivita che va da pochi secondi a centinaia di anni. I contaminanti possono essere in forma solida, liquida o gassosa ponendo differenti problematiche di gestione secondo i casi.

La valutazione del rischio tiene conto delle operazioni ordinarie, cioè le attività di tutti i giorni che riguardano la produzione e l'utilizzo di materiali radioattivi, campioni di interesse scientifico e l'uso o le lavorazioni che possono potenzialmente arrecare esposizione ai lavoratori. Oltre a ciò essa comprende la disamina dei piccoli malfunzionamenti, piccoli incidenti che possono costituire maggiore aggravio di esposizione ai lavoratori in virtù delle caratteristiche di imprevedibilità o semplicemente dispersione di radioattività nell'ambiente di lavoro.

La valutazione del rischio deve poi tener conto dei problemi impiantistici che possono portare ad emergenze nu-

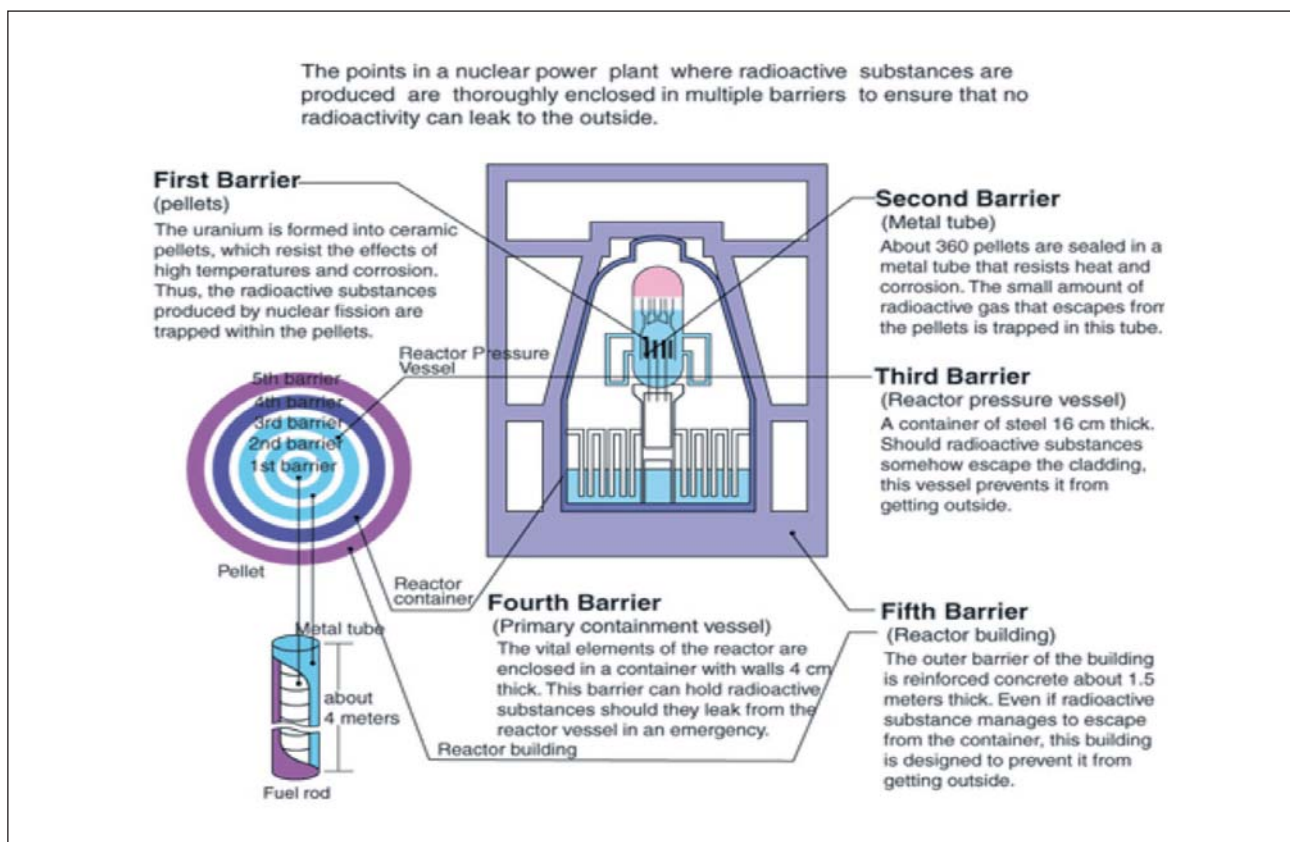


Figura 1. Schema barriere in un impianto nucleare

cleari, interne all'impianto (cioè senza che la radioattività esca dall'edificio) ed esterne con coinvolgimento dell'ambiente e della popolazione limitrofa. Secondo recenti rivalutazioni delle possibili cause iniziatrici di questi eventi, la valutazione di rischio è estesa a tutte quelle cause, anche non nucleari, che possano costituire un pericolo per il confinamento della radioattività o che possano concorrere, insieme ad altre cause, ad un aggravamento della situazione espositiva durante un'emergenza.

La presentazione passa quindi in rassegna, in primis, i diversi possibili eventi iniziatori di carattere nucleare così sistematizzabili:

- Inserzioni incontrollate e reattività, possibili divergenze della potenza termica oltre i parametri di esercizio e relative esposizioni del personale e della popolazione.
- Rotture di vario tipo delle guaine di protezione degli elementi di combustibile con relativa fuoriuscita di prodotti di fissione gassosi.
- Eventi di perdita di refrigerante con conseguenze per la salute del reattore e per l'ambiente circostante.
- Eventualità che l'intero nocciolo del reattore possa trovarsi al di fuori delle barriere di protezione, ad esempio a seguito di uno svuotamento parziale o totale dell'acqua della piscina reattore, con conseguenti esposizioni da nocciolo scoperto.
- Incidenti, guasti, rotture e manovre scorrette in fase di spostamento o gestione del combustibile esausto e relative conseguenze.

Successivamente si prendono in esame gli effetti di emergenze non nucleari distinte in grandi classi:

- Incendio in zona controllata.
- Allagamento in zona controllata.
- Rischio sismico.
- Effetto di cause esterne sulla sicurezza dell'impianto quali ad esempio caduta della rete elettrica, fulmini, tornadi, frane o crolli di edifici limitrofi, vento forte, eventi meteorologici estremi.

---

## Conclusioni

In conclusione si torna a posare l'accento sulla diversità di approccio delle operazioni di routine rispetto alle necessarie azioni da intraprendere laddove il rischio nucleare si manifesti in forma veramente pericolosa a causa del fallimento di logiche di sicurezza e integrità delle barriere di protezione. Si fa brevemente cenno al fatto che oltre alle valutazioni di rischio radiologico che appartengono al genere "safety" esistono parallelamente altre valutazioni di rischio appartenenti alla categoria "security" che sempre più necessitano di attenzione e delle quali generalmente non si parla in ambito di convegni o altri eventi pubblici.

---

## Bibliografia

- 1) "Radiazioni ionizzanti: dosimetria, protezione e prevenzione", di A. Venier 1974.
- 2) "Defence in depth in nuclear safety INSAG-10, A report by the International Nuclear Safety Advisory Group", IAEA Vienna 1996.
- 3) "Conferenza AIRP sull'incidente di Chernobyl: atti del convegno 23 giugno 1986", A.i.r.p.
- 4) ICRP, 1984. Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents - Principles for Planning. ICRP Publication 40. Ann. ICRP 14 (2).
- 5) ICRP, 2016. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4), 1-352.
- 6) ICRP, 2014. Protection of the Environment under Different Exposure Situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).
- 7) ICRP, 2008. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38 (3).
- 8) ICRP, 1997. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers (preface and glossary missing). ICRP Publication 78. Ann. ICRP 27 (3-4).
- 9) CEVaD Centro di Valutazione ed Elaborazione Dati - Emergenze nucleari eradiologiche, manuali e linee guida.
- 10) Software RODOS "Realtime Online Decision Support System for nuclear emergency management", Last modified: Mar 25, 2015.

**Corrispondenza:** Sergio Manera, L.E.N.A. - Laboratorio Energia Nucleare Applicata, Università degli Studi di Pavia, Via Aselli 41, 27100 Pavia (PV), Italy, Tel. +39 0382 98 7307, manera@unipv.it