

FONDATA  
NEL 1977

# Aggiornamenti di radioprotezione

Organo ufficiale dell'Associazione Italiana di Radioprotezione Medica

## VERSIONE RIDOTTA

DIVENTA SOCIO PER AVERE LA TUA COPIA COMPLETA

### ASPETTI SCIENTIFICI E PROFESSIONALI

Eventi nucleari oltre frontiera e sistema nazionale di risposta alle emergenze radiologiche e nucleari | P. Zeppa |

Radioprotezione dei lavoratori esterni | E. Giroletti |

Metodologie per la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici (CEM) nel contesto dell'analisi del rischio sulla salute | S. Fiocchi |

Chelyabinsk: oltre mezzo secolo di radioattività | A. Testa  
C. Patrono  
V. Palma |

Le conseguenze sanitarie nell'area del poligono nucleare di Semipalatinsk | A. Testa  
C. Patrono  
V. Palma |

### NOTIZIE DALL'ASSOCIAZIONE

Verbale della riunione del CD-2021, tenutasi in data 19 maggio 2024 alle ore 15.00 presso Hotel Mercure Astoria, via Leopoldo Nobili 2, Reggio Emilia

### CONGRESSI, CONVEGNI E CORSI

37° Corso Avanzato di Radioprotezione Medica Bressanone - 1-5 settembre 2025



Personalizzare la radioprotezione

Associazione Italiana di Radioprotezione Medica, Via Isidoro del Lungo 7, 00137 Roma (RM) - [www.airm.name](http://www.airm.name)

PERIODICO SEMESTRALE DESTINATO AI SOCI DELLA ASSOCIAZIONE ITALIANA  
DI RADIOPROTEZIONE MEDICA FONDATA DA ERNESTO STRAMBI  
ANNO XXXIII, N.1 (GIUGNO 2025)

**Direttore:**  
Roberto Moccaldi

**Responsabile:**  
Franco Claudiani

**Redazione:**

Salvatore Bellia	Vincenzo Camisa	Giulia Castellani	Giuseppe De Luca
Fabrizio Gobba	Vittorio Lodi	Roberto Moccaldi	Alberto Modenese
Maria Grazia Lourdes Monaco	Andrea Stanga	Antonella Spigo	Giuseppe Taino

**Realizzazione elettronica:** Alessandro Turcato - [a.turcato@dmxlab.it](mailto:a.turcato@dmxlab.it)

Il periodico è disponibile sul sito [www.airm.name](http://www.airm.name) per i Soci AIRM in regola con le quote sociali. I contenuti degli articoli sono di esclusiva responsabilità degli autori e non implicano necessariamente la posizione ufficiale dell'Associazione. Non è consentita la riproduzione, anche parziale, senza il consenso scritto dell'Associazione. Per esigenze editoriali la redazione può apportare modifiche ai testi, informandone gli autori. Manoscritti ed altro materiale, anche se non pubblicati, non si restituiscono.

I manoscritti devono essere inviati a [franco.claudiani@gmail.com](mailto:franco.claudiani@gmail.com).

I manoscritti devono indicare i nomi degli autori, la loro affiliazione, un recapito mail, essere in formato word; non ci sono limiti di pagine, le tabelle e le fotografie devono essere numerate e con didascalia, la bibliografia deve essere numerata secondo l'ordine di citazione nel testo.

## ASSOCIAZIONE ITALIANA DI RADIOPROTEZIONE MEDICA (AIRM)

Associazione culturale e professionale senza fini di lucro, istituita nel 1977, con Atto  
Notaio Nazzareno Dobici, serie 1313, vol.464 - Codice Fiscale 80457430587

**Consiglio Direttivo:**  
Presidente: Roberto Moccaldi  
Vice Presidente: Fabriziomaria Gobba  
Segretario: Giulia Castellani  
Tesoriere: Andrea Stanga

**Segreteria:**  
[segreteriaairm@gmail.com](mailto:segreteriaairm@gmail.com)  
Tel: 3283299877

**Consiglieri:**  
Salvatore Bellia - Vincenzo Camisa  
Giuseppe De Luca - Vittorio Lodi  
Alberto Modenese - Maria Grazia Lourdes Monaco  
Antonella Spigo - Giuseppe Taino

**Webmaster:**  
Alessandro Turcato - [a.turcato@dmxlab.it](mailto:a.turcato@dmxlab.it)

**Consiglio scientifico:**  
Bernard Le Guen - Stefano De Crescenzo  
Alessandro Giordani - Carlo Grandi  
Paolo Rossi - Antonella Testa  
Massimo Virgili

Versamenti: L'AIRM si autogestisce mediante le quote dei propri Soci. Tutti i versamenti in favore dell'AIRM devono essere effettuati esclusivamente mediante bonifico bancario intestato a:

C/C Bancario: BPER Banca  
AIRM – IBAN: IT 26 G 05387 74950 0000 430 15488

## ASPETTI SCIENTIFICI E PROFESSIONALI

EVENTI NUCLEARI OLTRE FRONTIERA E SISTEMA NAZIONALE DI RISPOSTA ALLE EMERGENZE RADIOLOGICHE E NUCLEARI	P. Zeppa	4
RADIOPROTEZIONE DEI LAVORATORI ESTERNI	E. Giroletti	24
METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI (CEM ) NEL CONTESTO DELL'ANALISI DEL RISCHIO SULLA SALUTE	S. Fiocchi	28
CHELYABINSK: OLTRE MEZZO SECOLO DI RADIOATTIVITA'	A. Testa C. Patrono V. Palma	42
LE CONSEGUENZE SANITARIE NELL'AREA DEL POLIGONO NUCLEARE DI SEMIPALATINSK	A. Testa C. Patrono V. Palma	46

## NOTIZIE DELL'ASSOCIAZIONE

Verbale della riunione del CD-2021, tenutasi in data 19 maggio 2024 alle ore 15.00 presso Hotel Mercure Astoria, via Leopoldo Nobili 2, Reggio Emilia	49
---	----

## CONGRESSI, CONVEGNI E CORSI

37° Corso Avanzato di Radioprotezione Medica Bressanone - 1 - 5 settembre 2025	51
--	----

## EVENTI NUCLEARI OLTRE FRONTIERA E SISTEMA NAZIONALE DI RISPOSTA ALLE EMERGENZE RADIOLOGICHE E NUCLEARI<sup>1</sup>

Paolo Zeppa  
Ingegnere Nucleare

### Introduzione

Con l'occupazione militare della Centrale di Chernobyl (24 febbraio 2022) e la successiva occupazione di quella di Zaporizhzhya (4 marzo 2022), la più grande centrale nucleare d'Europa con i suoi 6 reattori VVER-1000 (acronimo russo per Reattore ad Acqua Pressurizzata) ciascuno da 950 MW di potenza elettrica, per la prima volta nella storia del nucleare, delle installazioni nucleari civili sono state direttamente coinvolte in contesti bellici. Sin dall'inizio del conflitto russo-ucraino, la preoccupazione della comunità internazionale si è, infatti, concentrata sulla possibilità che operazioni militari nell'intorno degli impianti nucleari ucraini potessero causare danneggiamenti gravi alle strutture e ai sistemi di sicurezza, con il potenziale pericolo di innescare un grave incidente nucleare. In tale contesto, l'impegno delle organizzazioni internazionali, in particolare della Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica, la IAEA, è stato rivolto alla verifica costante dei livelli di sicurezza e di protezione degli impianti ucraini, soprattutto della Centrale di Zaporizhzhya; ciò, tuttavia, non ha impedito le frequenti condizioni di pericolo che in questi oltre tre anni di guerra si sono ripetute. Si pensi, al riguardo, ai numerosi distacchi per bombardamenti, delle linee elettriche di alimentazione della centrale, elementi fondamentali per

garantire il funzionamento dei sistemi di sicurezza degli impianti, come anche alla distruzione, nel giugno 2023, della diga di Nova Kakhovka che ha messo a rischio le riserve idriche della Centrale necessarie a garantire la refrigerazione del nocciolo dei reattori nucleari, o anche ai continui sorvoli di missili e droni negli spazi aerei interdetti al volo al di sopra delle centrali nucleari ucraine.

In questo contesto, l'attenzione dell'opinione pubblica e dei media è stata più volte rivolta alle potenziali conseguenze che simili eventi potessero avere sul territorio italiano e alla capacità dei sistemi nazionali di risposta alle emergenze nucleari di fronteggiare tali situazioni.

In Italia, quasi contestualmente all'inizio delle ostilità, è stato approvato dal Governo il nuovo "Piano nazionale per la gestione delle emergenze radiologiche e nucleari" (DPCM 14 marzo 2022) che, dando attuazione a quanto previsto dall'art. 182 del Decreto legislativo 101/2020, a compimento di un intenso lavoro inter-istituzionale avviato già da tempo e coordinato dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC) della Presidenza del Consiglio dei Ministri, ha aggiornato il precedente Piano nazionale che entrò in vigore nel marzo 2010. Il nuovo dispositivo, come tutti i piani di emergenza, è stato predisposto a partire dagli scenari incidentali di riferimento che ne hanno caratterizzato la tipologia della risposta e la sua entità,

in termini di azioni a salvaguardia della salute pubblica e a protezione dell'ambiente. Tali scenari, come indicato dai più aggiornati standard di sicurezza internazionali, sono riconducibili a eventi incidentali, anche molto gravi ancorché a bassissima probabilità di accadimento, la cui origine resta però quella di natura tecnica e non riconducibile, quindi, ad azioni militari.

Pertanto, l'attenzione si è concentrata sulla verifica della compatibilità con gli scenari previsti dal Piano nazionale, di eventi che, a seguito di azioni militari, comportino il rilascio di materiale radioattivo da impianti nucleari nel territorio interessato dal conflitto. A questo quesito, l'ISIN, l'Ispettorato nazionale per la sicurezza nucleare e la radioprotezione, autorità di regolamentazione competente in materia di sicurezza nucleare e di radioprotezione, a cui la legge affida il compito di fornire gli scenari incidentali di riferimento su cui predisporre il Piano nazionale, ha risposto con uno studio che si descrive nel seguito, dopo aver illustrato le basi tecniche del nuovo Piano nazionale di emergenza.

Alle preoccupazioni per la presenza delle installazioni nucleari nelle aree del conflitto, si sono aggiunte quasi da subito quelle per il paventato impiego di ordigni nucleari. Più volte, infatti, nel corso del conflitto, le autorità russe hanno fatto riferimento alla possibilità di utilizzo dell'armamento atomico. Anche per questi scenari l'interesse è stato quello di valutare le conseguenze sui territori dei paesi europei, a distanza dal punto della detonazione. Al riguardo, si riportano nel seguito le principali conclusioni di uno studio con-

dotto dalla Autorità di sicurezza nucleare svedese, integrate con quanto, sempre in merito alle conseguenze di una detonazione nucleare a distanza, il recente Piano nazionale d'emergenza austriaco prevede. Infine, sempre su questo tema, sono descritte le conclusioni preliminari di uno studio condotto in collaborazione tra ISIN e ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.

### **Piano Nazionale - Scenari incidentali di riferimento**

In ottemperanza a quanto disposto dall'art. 182 comma 1 del Decreto Legislativo n. 101 del 31 luglio 2020, di recepimento della direttiva EURATOM 59/2013, con il DPCM del 14 marzo 2022, su proposta del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, sentiti il Ministero dell'interno e il Ministero della salute e acquisito il parere dell'ISIN e della Conferenza unificata, è stato emanato dal Governo il *Piano nazionale per la gestione delle emergenze radiologiche e nucleari* su tutto il territorio tali da richiedere azioni di intervento coordinate a livello nazionale [1].

Il Piano è stato predisposto sulla base dello studio che individua le sequenze incidentali ipotizzabili e le relative conseguenze sulla salute e sull'ambiente condotto dall'ISIN ai sensi del comma 3 dell'art. 182, pari decreto, che affida all'Ispettorato la predisposizione dei presupposti tecnici del Piano nazionale [2].

Il documento propone una rivalutazione dei presupposti tecnici che furono alla base della precedente versione del 2010 del Piano Nazionale

di cui al DPCM 19 marzo 2010 “Piano Nazionale delle misure protettive contro le emergenze radio-logiche”, definiti nel 2006 dal Dipartimento nucleare, rischio tecnologico e industriale dell’allora APAT (oggi ISPRA), le cui funzioni e responsabilità sono oggi attribuite all’ISIN [3].

Nel documento del 2006 come in quello del 2021, le sequenze incidentali prese a riferimento come espressione delle condizioni più gravose sono quelle riconducibili a situazioni rappresentative di scenari caratterizzati da un processo di danneggiamento diffuso del nocciolo del reattore nucleare unitamente ad una perdita della funzione di contenimento, ipotizzando, tuttavia, una parziale capacità di mitigazione dei rilasci di radioattività all’ambiente esterno a seguito degli interventi dell’operatore. Si tratta di un incidente nucleare classificabile al 7° livello, l’ultimo della scala INES [4] che classifica la magnitudo di un incidente nucleare in livelli di gravità crescente, dove il livello 7 è associabile agli incidenti più gravi come quelli di Chernobyl dell’aprile 1986 e di Fukushima Daichi del marzo 2011.

Quindi, anche nel nuovo studio si è mantenuto lo stesso termine di sorgente, cioè la quantità di

radioattività e la tipologia di radionuclidi, utilizzata nel precedente.

La scelta di mantenere invariata la magnitudo del rilascio radioattivo stimato nel 2006 ha trovato ulteriore giustificazione proprio in relazione alle conseguenze dell’incidente di Fukushima del marzo 2011, che ha confermato come gli incidenti severi classificabili al livello 7 della scala INES, non possano essere del tutto esclusi, in particolare in materia di pianificazione di emergenza a cui è affidato il compito di mitigare le conseguenze di un incidente nucleare, soprattutto se particolarmente grave. Infatti, nella Tabella 1) sono poste a confronto la stima delle attività di Iodio-131 (I-131) e di Cesio-137 (Cs-137) rilasciate nel corso dell’incidente giapponese<sup>2</sup>, con quelle calcolate per gli scenari incidentali indicati nel documento di presupposti tecnici (centrali nucleari di St. Alban in Francia e di Krško in Slovenia; vedere nel seguito). Come si vede, il termine di sorgente calcolato per lo studio dei Presupposti tecnici del 2006 e ribadito in quelli del 2021 risulta essere in linea con i rilasci stimati per l’incidente di Fukushima.

Radioisotopi	Fukushima (Stima NISA) [5] [6]	Piano Nazionale Centrale di St. Alban [2] [3]	Piano Nazionale Centrale di Krško [2] [3]
I-131	1.60E+17	3.10E+17	1.60E+17
Cs-137	1.50E+16	2.10E+16	1.00E+16

Tabella 1) Comparazione dei termini di sorgente (Bq) postulati per gli incidenti di riferimento del Piano nazionale, con una delle stime (NISA) del rilascio radioattivo dell’incidente di Fukushima del 2011

L'incidente alla centrale giapponese ha indotto, quindi, molti paesi a rivedere le basi tecniche delle proprie pianificazioni, introducendo scenari incidentali maggiormente severi. Nella Tabella 2) sono comparate le attività dei due radioisotopi più rappresentativi utilizzate come termini di sorgente nelle pianificazioni nazionali di Germania e Svezia,

con quelle posti a calcolo nello studio del 2006 e ribadite nei presupposti tecnici del 2021. Anche in questo confronto, le ipotesi applicate nello studio italiano del 2006 hanno trovato sostegno da quanto negli altri paesi è stato fatto a seguito della lezione appresa dall'incidente di Fukushima nel 2011.

Isotopi	Germania [7]	Svezia [8]	PT 2006 St. Alban	PT 2006 Krško
I-131	3.06E+17	1.8E+17	3.10E+17	1.60E+17
Cs-137	2.86E+16	1.9E+16	2.10E+16	1.00E+16

Tabella 2) Comparazione dei termini di sorgente (Bq) stimati per gli incidenti di riferimento utilizzati nella pianificazione di emergenza esterna (Off-site Emergency Plan) di Germania e Svezia, con quelli stimati dall'APAT nei PT del 2006 e ribaditi dall'ISIN nel 2021

### Piano Nazionale - Valutazione delle conseguenze radiologiche

Per valutare l'impatto sul territorio nazionale della nube radioattiva, l'ISIN ha fatto uso del sistema di modellizzazione della dispersione atmosferica di un rilascio di radioattività nell'ambiente, che è operativo presso il proprio Centro Emergenze Nucleari [9]. Il Centro costituisce un elemento di supporto tecnico per le autorità di protezione civile fondamentale nella gestione delle emergenze nucleari e radiologiche.

I termini di sorgente valutati per ciascuno degli impianti presi a riferimento nello studio, sono stati inseriti nel sistema e, per tener conto delle diverse condizioni meteorologiche che potrebbero verificarsi, è stato scelto di alimentare il modello di dispersione con i dati meteorologici storici di un

intero anno. Per ciascun giorno del periodo di studio, sono stati lanciati, in maniera automatica, due run di simulazione, per un totale di circa 600 simulazioni per ciascun impianto preso a riferimento. Gli impianti presi a riferimento per la loro posizione geografica rispetto ai venti prevalenti di ingresso nel territorio nazionale sono riportato nella Figura 1), dove in rosso sono evidenziate le centrali nucleari presenti entro una distanza di 200 km dai confini nazionali, in arancio quelle a meno di 1000 km e in verde le centrali nucleari che si trovano nel continente europeo e distano più di 1000 km dalle nostre frontiere.

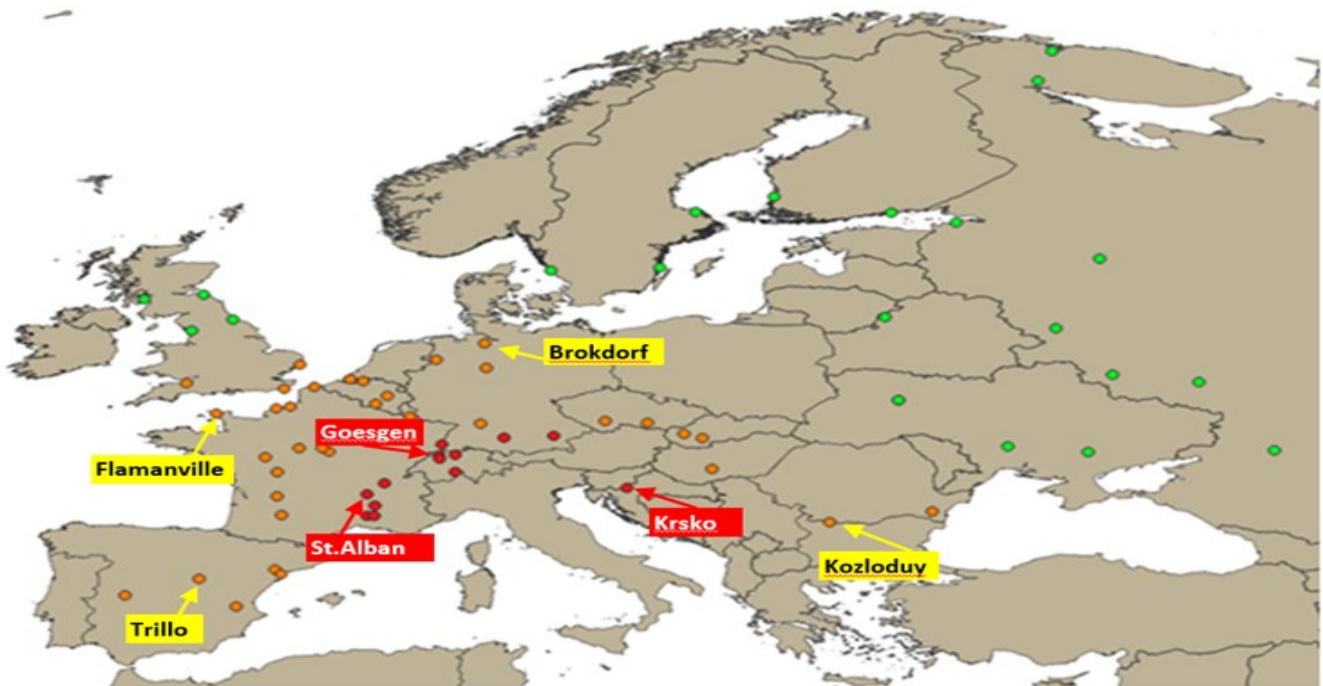


Figura 1) Centrali nucleari sul territorio europeo: sono evidenziate le centrali nucleari localizzate a meno di 200 km dai confini italiani (punti rossi), quelle entro una distanza di 1000 km (punti arancio) e le centrali nucleari oltre i 1000 km ma ancora nella regione europea (punti verdi). Sono, inoltre, indicate le centrali in cui è stato postulato (solo per una copertura geografica del territorio e senza alcun riferimento ai loro livelli di sicurezza) che avvenga l'incidente di riferimento

I criteri dosimetrici per la valutazione dell'impatto radiologico degli scenari di riferimento e dell'efficacia della strategia di protezione della salute della popolazione che un piano d'emergenza deve contemplare, sono forniti dal DPCM 29 aprile 2022 ex art. 172, comma 7, del D.Lgs. n. 101/2020 e successive modifiche.

In particolare, quale strumento per l'ottimizzazione della protezione, si definisce il *livello di riferimento per le situazioni di esposizione di emergenza*, come il livello di dose efficace al di sopra del quale non è appropriato consentire che dette esposizioni avvengano (non è da considerarsi, però, come un limite che non può essere superato). Si esprime come un valore di dose efficace residua (a valle dell'applicazione delle misure protettive previste dalla strategia di protezione di cui ai piani di emergenza) per esposizione acuta o su base an-

nua, da fissare nell'intervallo tra 20 e 100 mSv. In applicazione del principio di ottimizzazione, è possibile fissare un valore anche al di sotto di 20 mSv nel caso in cui le misure protettive da adottare non causano danni sproporzionati. Mentre, i valori più elevati devono essere presi in considerazione nei casi in cui le conseguenze dei provvedimenti risultino molto gravi o comunque non si possa ritenere di mantenere le esposizioni al di sotto di un livello prefissato.

Inoltre, ai fini operativi per l'attuazione delle misure protettive previste, il DPCM fornisce anche i *criteri generici per l'attuazione delle misure protettive nelle situazioni di esposizione di emergenza*.

Nella Tabella 3) sono presentati valori di dose al superamento dei quali nei piani di emergenza è opportuno prevedere l'attuazione della specifica

misura protettiva. È, quindi, con quest'ultimi che sono stati comparati i livelli di esposizione valutati per i diversi scenari, impianti e vie di esposizione, al fine di definire i provvedimenti a protezione della salute della popolazione da prevedere nel Piano.

MISURA PROTETTIVA	CRITERI GENERICI (Dose Proiettata - mSv)
Riparo al chiuso	<b>10</b> (dose efficace proiettata in un tempo di <u>2</u> giorni)
Evacuazione <sup>A</sup>	da <b>20 a 50</b> In relazione al livello di riferimento fissato (dose efficace proiettata in un tempo di <u>7</u> giorni)
Dislocazione <sup>B</sup>	<b>30</b> (dose efficace proiettata in un tempo di 30 giorni)
Somministrazione di iodio stabile (ITB)	<b>40</b> (dose equivalente alla tiroide proiettata nei sette giorni dall'inizio dell'esposizione)

Tabella 3) Criteri generici per l'attuazione delle misure protettive nelle situazioni di esposizione di emergenza di cui al DPCM 29 aprile 2022 ex art. 172, comma 7, del D.Lgs. n. 101/2020 e s. m. i. (A) Misura protettiva urgente attuata nella prima fase dell'emergenza, principalmente per contrastare la via di esposizione dell'inalazione da nube radioattiva, che consiste nel trasferimento di persone dalle loro case in un centro di raccolta di emergenza (ad esempio previsto in sede di pianificazione) per un periodo temporale relativamente breve. (B) Trasferimento di persone dalle loro case, o dai centri di evacuazione di emergenza, in un luogo diverso per un periodo di tempo prolungato, con lo scopo di evitare l'esposizione a medio-lungo termine alla radioattività presente nell'ambiente

L'impatto radiologico maggiore sul territorio italiano è, ovviamente, quello stimato a partire dagli impianti nella fascia dei 200 km dai confini nazionali.

Nel dettaglio, lo studio ha fornito indicazioni operative riguardo le aree del nord e del centro-nord (Figura 2), quelle più prossime agli impianti analizzati, dove è necessario prevedere, nelle fasi iniziali dell'emergenza, a tutela di particolari gruppi di popolazione quali i bambini, lattanti, donne in gravidanza o in allattamento, l'attuazione di misure protettive di riparo al chiuso e l'eventuale distribuzione di dosi di iodio stabile.

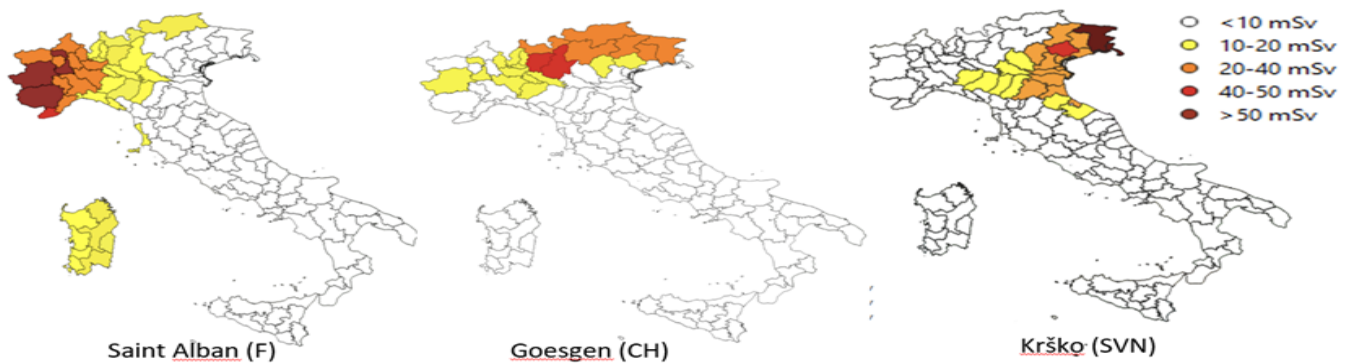


Figura 2) Distribuzione sul territorio delle dosi equivalenti alla tiroide massime per il gruppo dei bambini, risultanti dalle simulazioni (condizioni meteorologiche avverse) di incidenti a carico delle centrali di riferimento individuate nella fascia dei 200 km dai confini nazionali

Inoltre, è necessario predisporre adeguate capacità di controllo radiometrico per la caratterizzazione radiologica dell'ambiente e delle matrici alimentari. Tali controlli potranno estendersi su vaste aree del territorio nazionale e per tempi prolungati. Su di essi verranno individuati i provvedimenti a protezione della salute pubblica da attuarsi, in particolare, nelle fasi successive dell'emergenza, quali le restrizioni alla produzione, commercializzazione e consumo di alimenti di origine animale e/o vegetale e la protezione del patrimonio zootecnico (inibizione del pascolo, confinamento al chiuso degli animali e alimentazione mangimi e acqua non contaminati, rinvio della macellazione degli animali contaminati, ...)

### Piano Nazionale - Misure di salute pubblica e scenari incidentali

Nella Tabella 4) sono riportati i principali provvedimenti a tutela della salute pubblica così come vengono declinati nel Piano nazionale.

MISURE PROTETTIVE	ATTIVITA'
DIRETTE	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Indicazione di riparo al chiuso;</li> <li>– Distribuzione iodio stabile;</li> </ul>
INDIRETTE	<p><b>Sicurezza alimentare e controllo della filiera:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– restrizioni sulla produzione, commercializzazione e consumo di alimenti di origine vegetale e animale;</li> <li>– misure a protezione del patrimonio agricolo e zootecnico;</li> </ul>
ALTRE MISURE	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Assistenza a cittadini italiani presenti nel Paese estero interessato da un incidente radiologico e nucleare;</li> <li>– Misure relative all'importazione delle derrate alimentari ed altri prodotti contaminati;</li> <li>– Monitoraggio della contaminazione personale <u>sugli individui che fanno ritorno dai paesi colpiti.</u></li> </ul>
<b>INFORMAZIONE AL PUBBLICO</b>	

Tabella 4) Principali provvedimenti a tutela della salute pubblica previsti dal Piano nazionale, per tipologia di misura protettiva

Le indicazioni operative fornite dallo studio dei presupposti tecnici hanno indicato l'opportunità di pianificare la risposta di emergenza per tre distinti scenari incidentali per i quali il Piano deve prevedere l'attuazione di provvedimenti a tutela della sanità pubblica come descritto nella seguente Tabella 5):

<p><b>SCENARIO 1 – Incidente ad un impianto nucleare a distanza inferiore ai 200 km dai confini</b> In caso di incidente grave e interessamento del territorio italiano, il Piano prevede l'adozione di tutte le tipologie di misure protettive previste dallo studio dei Presupposti Tecnici: dirette, indirette e altre misure protettive.</p>	<b>MISURE PROTETTIVE DIRETTE</b>
	<b>MISURE PROTETTIVE INDIRETTE</b>
	<b>ALTRE MISURE PROTETTIVE</b>
	<b>INFORMAZIONE</b>

<p><b>SCENARIO 2 – Incidente ad un impianto nucleare europeo a distanza superiore ai 200 km</b>                  In caso di incidente grave e interessamento del territorio italiano, il Piano non prevede l'adozione di misure protettive dirette; permane la necessità di poter attuare provvedimenti di tipo indiretto e le altre misure protettive, oltre alle attività di informazione alla popolazione.</p>	MISURE PROTETTIVE INDIRECTE
	ALTRE MISURE PROTETTIVE
	INFORMAZIONE
<p><b>SCENARIO 3 – Incidente ad un impianto nucleare extraeuropeo</b>                  In questo caso non sono mai previsti provvedimenti diretti o indiretti; verranno, nel caso, attuati provvedimenti del tipo "altre misure protettive".</p>	ALTRE MISURE PROTETTIVE
	INFORMAZIONE

Tabella 5) Per ciascuno dei tre scenari previsti dal Piano nazionale, sono individuate le tipologie delle misure protettive che il Piano stesso deve assicurare

**La situazione di crisi internazionale**

La domanda ricorrente che maggiormente ha caratterizzato le fasi iniziali del conflitto è stata *“Se la centrale di Zaporizhzhya venisse danneggiata seriamente da un’azione militare, cosa accadrebbe? Il Piano nazionale sarebbe ancora efficace?”*

Il Piano nazionale, ovviamente, non è stato predisposto facendo riferimento anche a situazioni di conflitto armato e, in generale, nessuna centrale nucleare è stata mai progettata includendo nelle sue dimostrazioni di sicurezza i potenziali danneggiamenti causati da un evento bellico. Tuttavia, le barriere ed i sistemi di sicurezza esistenti nelle centrali sono progettati con ridondanze e capacità di resistenza ad eventi di origine antropica e naturale anche molto seri, e ciò può garantire una capacità di prevenire o attenuare eventuali rilasci di radioattività all’ambiente anche a seguito di un’azione militare. Peraltro, come nel caso del Piano nazionale italiano e di quelli di altri paesi, i dispositivi di emergenza [10], già prevedono di dover fronteggiare sequenze incidentali la cui gravità è postulata essere di livello 7 della scala INES, con un rilascio della radioattività dello stesso ordine di grandezza di quello dell’incidente alla centrale di

Fukushima e inferiore solo a quello attribuito al disastro di Chernobyl del 1986.

Ciò nonostante non si può escludere che un’azione militare possa danneggiare ancor più seriamente la struttura di contenimento dei reattori e i reattori stessi, determinando rilasci di radioattività addirittura superiori ai massimi ipotizzati, con la necessità di estendere ancora di più il raggio d’azione nel quale adottare le misure protettive [11] [12] [13]. Resta difficile, però, in tali evenienze, prevedere cosa accadrebbe nel dettaglio in termini di modalità del rilascio e quantità di radioattività rilasciata. Appare, pertanto, ragionevole che, per valutare cosa potrebbe succedere nel caso di una tale evenienza, si assuma a riferimento un danneggiamento analogo a quello subito dal reattore n. 4 della centrale di Chernobyl. Infatti, la dinamica altamente distruttiva dell’incidente, la conseguente perdita immediata e totale del contenimento e l’impossibilità per l’operatore di mitigarne le conseguenze, consentono di poterlo considerare rappresentativo anche di ciò che avverrebbe nelle peggiori ipotesi associabili ad una azione bellica, deliberata o casuale che possa considerarsi<sup>3</sup>.

Con queste ipotesi e utilizzando una metodologia analoga a quella impiegata per la definizione dei Presupposti Tecnici del Piano nazionale<sup>4</sup>, l'ISIN ha condotto le sue valutazioni sulla compatibilità con gli scenari alla base del Piano nazionale, di una grave azione militare ad un reattore della centrale di Zaporizhzhya [14].

In Figura 3 è mostrata la distribuzione territoriale dei valori massimi di dose equivalente alla tiroide da inalazione (somma dei contributi dovuti allo I-131 e al Te-132) ottenuti nel periodo di studio, per il gruppo di popolazione dei bambini di 1 anno.

In Italia, la stima dei valori di dose alla tiroide si manterrebbe sempre minore di 40 mSv-equivalenti con un valore massimo, nel periodo di studio di 27 mSv-equivalenti. Nel resto dei territori, potrebbe superare i 50 mSv-equivalenti alla tiroide (valore questo che la maggior parte dei paesi ha adottato quale criterio per l'attuazione della misura protettiva del blocco della funzione tiroidea) anche a distanze dell'ordine dei 1000 km.

Riguardo la contaminazione del suolo a seguito del fall-out radioattivo, lo studio ha mostrato il possibile superamento dei valori corrispondenti ai livelli massimi ammissibili di radioattività nei prodotti alimentari e negli alimenti per gli animali fissati dalla normativa europea [15] [16] in ampie aree del territorio nazionale.

Quanto sopra consente di affermare che le conseguenze sul territorio italiano di un incidente causato da un evento bellico nella centrale di Zaporizhzhya possano, nella peggiore delle ipotesi, ritenersi compatibili con quelle associate ad uno scenario del Piano nazionale di tipo 2: *“Incidente a un impianto europeo posto oltre 200 km dai confini*

*nazionali”*.

Si conferma, infatti, che le dosi stimate non raggiungono valori per i quali risulti necessario adottare misure protettive dirette sulla popolazione (ad es. la iodoprofilassi). La contaminazione al suolo richiederà, anche in questo caso, l'applicazione di provvedimenti restrittivi della produzione, distribuzione e consumo di alimenti, e azioni a protezione del patrimonio zootecnico nelle aree colpite dal fall-out radioattivo, oltre ad attività di monitoraggio radiologico su vasta scala e prolungato nel tempo anche ai fini di una corretta informazione alla popolazione.

In conclusione, le attività e i provvedimenti previsti dal Piano nazionale per tale evenienza appaiono adeguati anche al caso di un rilascio catastrofico di proporzioni paragonabili all'incidente di Chernobyl del 1986 che avvenisse ad una unità della centrale nucleare di Zaporizhzhya a seguito, ad esempio, delle attività belliche nella zona.

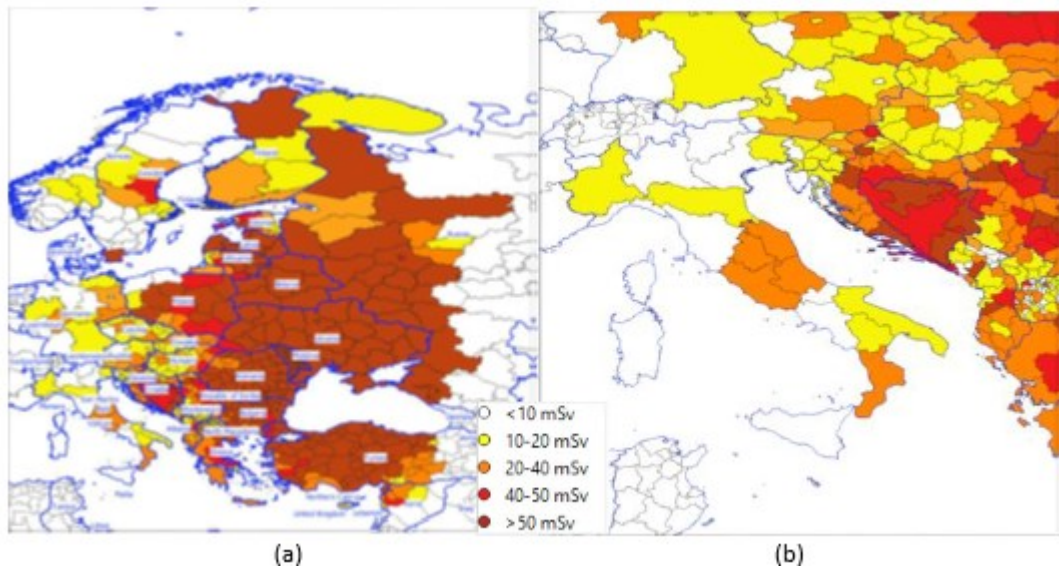


Figura 3) Distribuzione delle dosi equivalenti alla tiroide per la classe di età dei bambini (1 anno) in Europa a 72 ore dal rilascio: (a) visione sull'Europa (b) dettaglio sull'Italia [14].

### La minaccia di utilizzo di ordigni nucleari

La retorica sull'uso di armi nucleari da parte della Federazione Russa nel contesto del conflitto in Ucraina è emersa in modo esplicito fin dai primi mesi dell'invasione nel 2022, anche se all'inizio in forma più velata o ambigua. Si pensi all'ordine dato da Putin il 27 febbraio 2022, di mettere in stato di allerta le forze di deterrenza dell'esercito russo in risposta alle dichiarazioni della NATO: tra le forze di deterrenza è inclusa la componente nucleare [17].

Quindi, anche sul tema del potenziale utilizzo dell'arma atomica, l'interesse soprattutto da parte delle autorità dei paesi europei, è stato quello di valutare l'impatto radiologico sul proprio territorio a seguito di una detonazione nucleare nel paese ucraino.

Peraltro, non di rado, i media hanno accumulato le due criticità: un eventuale attacco militare ad un impianto nucleare e il potenziale utilizzo di un ordigno nucleare, come se le due situazioni

potessero in qualche modo considerarsi equivalenti. Un interessante studio che risponde sulle conseguenze alle medie e lunghe distanze del fallout radioattivo a seguito di una esplosione nucleare, indicando anche le principali differenze con quello che si registrerebbe a seguito di eventi a carico di un reattore nucleare in operazione, è stato recentemente prodotto dalla Swedish Radiation Safety Authority (SSM) [18]. Nel seguito, si forniscono alcune risultanze dello studio, soprattutto per quanto riguarda le azioni protettive di cui la pianificazione di emergenza deve tener conto e delle differenze tra le due situazioni emergenziali.

### Valutazioni dell'impatto dosimetrico di una detonazione nucleare a distanza - Lo studio Svedese

Nella definizione dello scenario di riferimento, una prima ipotesi riguarda la tipologia di ordigno da sottoporre ad analisi. Si distinguono due classi di ordigni nucleari: quelli cosiddetti "strategici" e quelli "tattici". I primi hanno la principale funzione di rappresentare un deterrente ad eventuali iniziative belliche della controparte: in generale hanno potenze esplosive più elevate e sono montati su vettori in grado di colpire anche a grandi distanze. Gli ordigni tattici, invece, sono destinati ad un uso diretto sul campo di battaglia e presentano potenze esplosive anche minori, che consentano di ritenere relativamente limitata l'area al cui interno sono presenti gli effetti diretti dell'esplosione: effetti termici (fire-ball), meccanici dell'onda d'urto, e dovuti alla radiazione diretta (X, gamma e neutroni).

Lo studio ha preso a riferimento la detonazione di un ordigno nucleare tattico con una potenza esplosiva di 100 chilotoni (100 kt, paragonabile a 100 tonnellate di TNT) di cui il 50% dalla componente a fissione e 50% dalla componente a fusione nucleare (cosiddetta Bomba H). Inoltre, si è scelto di considerare una detonazione al livello del suolo (qualche centinaio di metri) in cui grandi quantità di materiale vengono risucchiate nel "fungo nucleare", parzialmente evaporate e quindi rese radioattive tramite attivazione neutronica conseguente gli elevati flussi neutronici emessi nel corso dell'esplosione. Peraltro, nel caso della componente a fusione, l'attivazione è ancora più intensa

per via del maggiore flusso di neutroni ad alta energia provenienti dalla reazione nucleare. I prodotti di attivazione del materiale del suolo si aggiungono ai prodotti della fissione nucleare, ai prodotti di attivazione del materiale che compone l'ordigno e agli attinidi (U/Pu) che sono sfuggiti al processo di fissione, e il tutto viene disperso nell'ambiente costituendo un termine di sorgente molto complesso, con un elevato numero di radioisotopi. La detonazione al suolo (Figura 4) è quella che, a parità di potenziale dell'ordigno, genera maggiore quantità di materiale radioattivo.



Figura 4) The explosion from a 14-kiloton nuclear test at the Nevada Test Site, in 1951 - [https://en.wikipedia.org/wiki/TNT\\_equivalent](https://en.wikipedia.org/wiki/TNT_equivalent)

La Figura 5) mostra le dosi efficaci più elevate ricevute dai bambini di 1 anno e dagli adulti, nell'ipotesi di esposti senza alcuna protezione (nessun riparo al chiuso e nessuna evacuazione), al variare della distanza dal luogo della detonazione. Sono riportate le dosi dopo 24 ore e quelle dopo i primi 2 giorni dalla detonazione. Dal confronto risulta che le dosi iniziali ricevute nelle prime 24 ore sono dominanti.

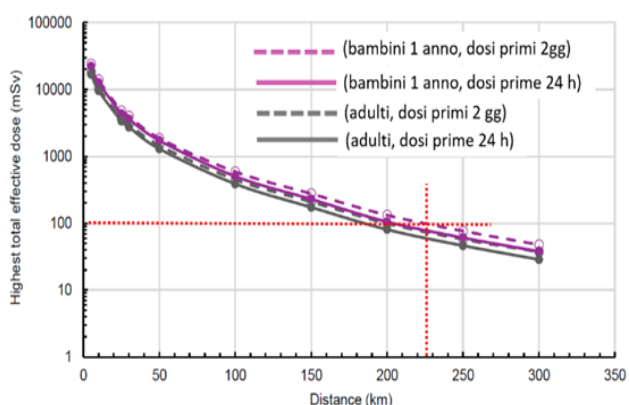


Figura 5) dosi efficaci più elevate ricevute dai bambini di 1 anno e dagli adulti, nell'ipotesi di esposti senza alcuna protezione (nessun riparo al chiuso e nessuna evacuazione, al variare della distanza dal luogo della detonazione [18]

Nel grafico il confronto è con un valore del livello di riferimento di 100 mSv efficaci che è quello in vigore in Svezia in caso di incidenti nucleari o eventi molto gravi, con una dinamica elevata, come nel caso di una detonazione di un ordigno nucleare. Anche nella normativa italiana è previsto che per tali classi di eventi si possa giungere a scegliere un livello di riferimento per le esposizioni di emergenza di 100 mSv efficaci. (vedi sopra, paragrafo “Piano nazionale - Valutazione delle conseguenze radiologiche”).

La Figura 6) mostra le dosi efficaci da inalazione e da irraggiamento da nube (Cloudshine, CS) ricevute dai bambini di 1 anno e dagli adulti, senza alcuna protezione, al variare della distanza dal luogo della detonazione, espresse in percentuale della dose da irraggiamento da suolo contaminato (Groundshine, GS) ricevuta nelle prime 24 ore.

Le dosi da irraggiamento da nube restano ben al di sotto dell'1% di quelle da GS delle prime 24h, a tutte le distanze, e quelle da inalazione superano, per la classe dei bambini, di poco tale valore. La dose efficace totale, quindi, a tutte le distanze, è completamente dominata dal contributo dell'esposizione esterna da suolo contaminato (GS).

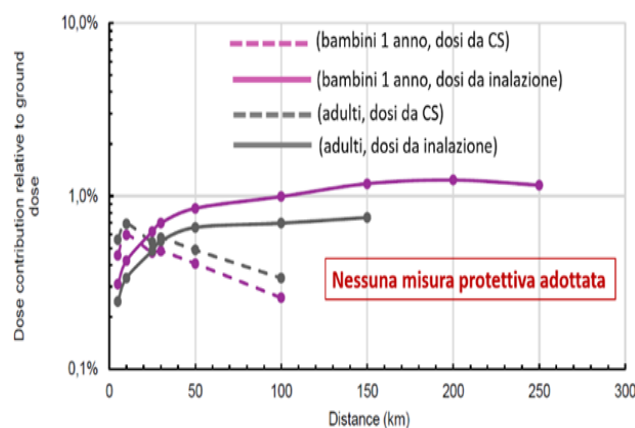


Figura 6) Dosi efficaci da inalazione e da cloudshine (CS) ricevute dai bambini di 1 anno e dagli adulti, senza alcuna protezione, al variare della distanza dal luogo della detonazione, espresse in percentuale della dose da groundshine (GS) ricevuta nelle prime 24 ore [18]

In Tabella 6) sono riportate le distanze massime entro le quali la dose efficace totale nel primo anno supera il livello di riferimento di 100 mSv per la popolazione che nei primi 2 giorni (durata provvedimento di riparo al chiuso) si è protetta ripa-

randosi nelle diverse tipologie di ricoveri e che, successivamente alla revoca del provvedimento di riparo al chiuso, per il resto dell'anno risiede (80% indoor, 20% outdoor) in una casa unifamiliare o in un grande edificio<sup>5</sup>.

	BAMBINI (1 ANNO)	ADULTI
PROTEZIONE INIZIALE (2 giorni)	DISTANZA (km)	
Casa unifamiliare	220	200
Grande edificio	180	160
Protective shelter	160	140
Seminterrato in grande edificio	160	130

Tabella 6) Distanze massime oltre le quali la dose efficace totale nel primo anno è inferiore al livello di riferimento di 100 mSv nel caso di riparo nei primi 2 giorni nelle diverse tipologie di ricoveri e, successivamente, di risiedere per il resto dell'anno (80% indoor, 20% outdoor) in una casa unifamiliare o in un grande edificio [18]

Per verificare la necessità che in simili circostanze si debba prevedere l'adozione della azione protettiva di somministrazione di iodio stabile (ITB, lodine Thyroid Blocking), sono riportate in Tabella 7) le distanze massime entro le quali la dose equivalente alla tiroide per i bambini di 1 anno (individuo rappresentativo della popolazione maggiormente

esposto al radioiodio) supera il livello di 50 mSv-equivalenti alla tiroide, criterio in vigore in Svezia. Vengono inoltre mostrate, a titolo comparativo, le dosi efficaci durante le prime 24 ore dopo l'esplosione, che si avrebbero alle medesime distanze, sia senza alcuna protezione (outdoor) sia riparati al chiuso (indoor).

BAMBINI 1 ANNO (Criterio $D_{eq-tiroide} = 50 \text{ mSv}$ )		
Distanza massima a cui $D_{equiv-tiroide} > 50 \text{ mSv}$	Dose efficace (prime 24 h)	Contributo della $D_{equiv-tiroide}$ alla Dose efficace
Outdoor (nessuna protezione)		
110 km	440 mSv	-2,5 mSv
Indoor in casa monofamiliare		
74 km	360 mSv	-2,5 mSv
Indoor in grande edificio		
9 km	1300 mSv	-2,5 mSv

Tabella 7) Distanze massime entro le quali la dose equivalente alla tiroide per i bambini di 1 anno supera il criterio di 50 mSv-equivalenti alla tiroide. Vengono inoltre mostrate, a titolo comparativo, le dosi efficaci nelle prime 24 ore dopo l'esplosione, che si avrebbero alle medesime distanze (senza protezione e con riparo al chiuso) e la riduzione che si avrebbe della dose efficace nel caso si impedisse l'esposizione alla tiroide (provvedimento ITB) [18]

L'analisi mostra che la soglia per gli effetti deterministici gravi alla tiroide (2 Gy) non si raggiunge nell'area oggetto dello studio, cioè quella a partire da 8 km di distanza dal punto della detonazione, che individua un limite degli effetti diretti dovuti all'esplosione nucleare.

Nel caso degli incidenti gravi a carico di una centrale nucleare, le dosi alla tiroide costituiscono una componente importante della dose efficace nella prima fase dell'emergenza, e possono essere molto elevate, anche a fronte di dosi efficaci moderate. In questo caso, il confronto con la dose efficace che si riceverebbe alla stessa distanza mostra quanto sia irrilevante un provvedimento di ITB. Si tenga presente, infatti, che 1/20 della dose alla tiroide è il contributo fornito alla stima della dose efficace. Ipotizzando una efficacia della ITB di abbattere la dose equivalente alla tiroide a 1/10, si avrebbe una riduzione della dose efficace del tutto marginale rispetto a quella che si assumerebbe a quelle distanze per le sole prime 24 h.

Di seguito le principali conclusioni dello studio:

- Le dosi da radiazioni iniziali a seguito di una esplosione nucleare sono interamente dominate dalla radiazione da fallout: il materiale radioattivo che si deposita al suolo; ciò a differenza di quanto avviene a seguito di un grave incidente ad un impianto nucleare di potenza, durante il quale, nella fase iniziale, il contributo maggiore proviene dalla inalazione della radioattività aerosospesa;
- La dose da fallout diminuisce rapidamente con il passare del tempo e il riparo in locali adeguati offre una efficace protezione nei primi giorni, anche in zone colpite da forti ricadute; infatti, a causa della dinamica dell'evento, l'evacuazione non è generalmente considerata la principale misura protettiva nell'immediato per via del rischio elevato di non riuscire a completarla prima dell'arrivo della nube radioattiva (a differenza di un impianto nucleare, il luogo dell'ipotetico evento non è conosciuto a priori);
- Le dosi da fallout possono risultare fatali, mettere in pericolo la vita o provocare lesioni permanenti a una persona non protetta anche a distanze di decine di chilometri; ma anche a maggiori distanze, centinaia di km, è necessario prevedere l'adozione di misure protettive per ridurre le conseguenze radiologiche a lungo termine;
- Le compresse di iodio (KI), ITB, non hanno una funzione pratica in caso di ricadute dovute a esplosioni nucleari in quanto lo iodio radioattivo inalato, in questo caso contribuisce in minima parte alla dose totale; anche nelle brevi distanze dalla detonazione, dove il provvedimento di ITB potrebbe essere tenuto in considerazione, è necessario tuttavia proteggersi dalle alte dosi dalla radioattività depositata al suolo mediante un efficace riparo al chiuso; ciò ridurrebbe significativamente le dosi stesse alla tiroide a valori più bassi da non giustificare la misura protettiva del ITB; questa è un'altra differenza rispetto alle strategie di protezione previste dai piani di emergenza per gli incidenti severi a

carico di NPP dove il blocco tiroideo con compresse di KI è una misura protettiva primaria.

### **Il piano di emergenza nazionale austriaco**

A complemento delle indicazioni che lo studio svedese ha offerto, è utile esaminare la valutazione che, nell'edizione del 2023 del Piano nazionale di emergenza austriaco, viene data dell'impatto radiologico sul proprio territorio, di una esplosione nucleare che avvenga a distanza dai confini nazionali [19].

Gli scenari presi a riferimento dal Piano riguardano esplosioni a distanze tali da non comportare sul territorio austriaco gli effetti diretti della detonazione nucleare ma esclusivamente le conseguenze del fallout, del trasporto atmosferico della radioattività sul suolo nazionale. Lo scenario che qui interessa è quello dell'utilizzo di una testata nucleare tattica in Ukraine la cui minima distanza dai confini è di 400 km.

Anche in questo caso lo scenario di riferimento riguarda una detonazione a livello del suolo di un ordigno nucleare tattico di potenziale 10-100 kt a distanze tra 100 e 1000 km dai confini. Scegliendo le condizioni meteo particolarmente sfavorevoli. Di seguito, le principali indicazioni che il Piano austriaco fornisce riguardo l'impatto radiologico di un tale evento:

- Nella fase iniziale dell'emergenza, il contributo maggiore alla dose è dato dall'irraggiamento da suolo contaminato (groundshine), mentre l'inalazione, specialmente quella di iodio radioattivo riveste una importanza minore; ciò è in linea con le risultanze dello

studio svedese di cui sopra;

- In caso di distanze maggiori di 400 km (il caso del territorio ucraino rispetto ai confini austriaci), le dosi non raggiungono i criteri generici per l'attuazione delle misure protettive della popolazione di tipo diretto, come il "riparo al chiuso" e la "preparazione e attuazione dell'ITB";
- Resta, invece, probabile l'adozione di provvedimenti di tipo indiretto come le misure a protezione del settore agricolo e alimentare; infatti, nelle fasi successive dell'emergenza, l'ingestione di alimenti contaminati comporterebbe le maggiori dosi in assenza di adeguati provvedimenti;
- Nel Piano stesso si conclude che, sulle grandi distanze, gli effetti radiologici di una detonazione al livello del suolo di un'arma di tipo tattico produce effetti radiologici meno gravi di quelli conseguenti un grave incidente ad una centrale nucleare in operazione.

### **La situazione di crisi internazionale e il piano nazionale di gestione delle emergenze nucleari**

Sin dall'inizio del conflitto, la preoccupazione della comunità internazionale si è indirizzata alla possibilità che un'azione di guerra potesse danneggiare molto gravemente una centrale nucleare ucraina (con particolare riferimento alla centrale di Zaporizhzhya) o che venisse fatto uso, nel corso del conflitto, di ordigni nucleari.

L'attenzione delle autorità si è rivolta, in particolare, a valutare che tipo di conseguenze tali eventi potessero avere sul territorio nazionale, se vi fosse

compatibilità con gli scenari alla base delle pianificazioni di emergenza per gli incidenti nucleari di tipo tecnico e quali fossero le principali differenze.

Prendendo a riferimento il nostro Piano nazionale di gestione delle emergenze nucleari e radiologiche, gli esiti degli studi e delle valutazioni riportate in questo articolo consentono di ritenere quanto segue.

Nel caso di un grave incidente causato da un evento bellico a carico della centrale di Zaporizhzhya, le conseguenze sul territorio italiano possono ritenersi compatibili con quelle associate ad uno scenario di tipo 2: *“Incidente a un impianto europeo posto oltre 200 km dai confini nazionali”* del Piano nazionale, in cui non è previsto doversi adottare misure protettive dirette sulla popolazione (ad es. ITB), bensì provvedimenti di tipo indiretto per via della contaminazione ambientale.

Una conclusione analoga è possibile formularla anche per quanto riguarderebbe le conseguenze sul territorio italiano di una esplosione di un ordigno nucleare di tipo tattico nel territorio ucraino come gli studi presentati in questo articolo dimostrerebbero. La grande distanza dai confini ucraini, anche in questo caso consente di ritenere un tale evento compatibile con lo scenario di tipo 2 del nostro Piano nazionale.

A questa conclusione giunge anche uno studio che l'ISIN sta conducendo in collaborazione con l'Istituto di radioprotezione dell'ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [20] che, sulla valutazione dell'impatto radiologico in Italia nella prima fase dell'emergenza, in via preliminare, si focaliz-

za sulla esposizione da inalazione al passaggio della nube radioattiva prodotta dall'esplosione di un ordigno nucleare tattico in uno scenario di guerra come quello russo-ucraino. Le conseguenze a medio e più lungo termine verranno analizzate nel dettaglio in un rapporto successivo. A conclusione dello studio preliminare, gli autori, facendo riferimento alle condizioni meteorologiche utilizzate, al tipo di ordigno ipotizzato, alle assunzioni in merito al termine di sorgente e alle limitazioni del modello di dispersione atmosferica utilizzato, ritengono che un rilascio radioattivo a seguito dell'uso di armi tattiche nucleari in Ucraina, non comporterebbe la necessità di adottare misure protettive dirette per la popolazione italiana nella primissima fase dell'emergenza. Anche in questo studio, in relazione alle deposizioni al suolo, resta la necessità di prevedere l'attuazione di un programma di controllo radiometrico per la caratterizzazione radiologica ambientale e per il monitoraggio delle matrici alimentari su vaste aree del territorio nazionale, sulla cui base individuare gli eventuali provvedimenti di tipo indiretto. Pertanto, anche in questo caso, l'evento ipotizzato risulta compatibile con lo scenario di tipo 2 del nostro Piano nazionale. ...Gli studi proseguono.

**Bibliografia**

- [1] Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile, “Piano Nazionale per la gestione delle emergenze radiologiche e nucleari - marzo 2022” ex art. 182, comma 2, D.Lgs. 101/2020 - <https://www.protezionecivile.gov.it/it/normativa/decreto-del-presidente-del-consiglio-dei-ministri-n-898-del-14-marzo-2022> - ultimo accesso aprile 2025
- [2] Documento ISIN/RT/09/2021/CEN - “Presupposti tecnici del Piano nazionale per la gestione delle emergenze radiologiche e nucleari - Edizione 2021”
- [3] APAT 2006, “Presupposti tecnici del piano nazionale delle misure protettive contro le emergenze nucleari e radiologiche- Aggiornamento per eventi di origine transfrontaliera.” e “Basi tecniche per l'aggiornamento dei presupposti del piano nazionale delle misure protettive contro le emergenze nucleari e radiologiche- Eventi di origine transfrontaliera.”
- [4] IAEA, “INES: The International Nuclear and radiological Event Scale”, <https://www.iaea.org/resources/databases/international-nuclear-and-radiological-event-scale> - <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/INES2013web.pdf> - ultimo accesso aprile 2025
- [5] IAEA 2015, “The Fukushima Daiichi Accident, Report by the director general” - <https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1710-reportbythedg-web.pdf> - ultimo accesso aprile 2025
- [6] WHO 2012, “Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami”, - [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44877/9789241503662\\_eng.pdf?sequence=1](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/44877/9789241503662_eng.pdf?sequence=1)
- [7] H. Walter, F. Gering, K. Arnold, B. Gerich, G. Heinrich U. Welte, “RODOS-based simulation of potential accident scenarios for emergency response management in the vicinity of nuclear power plants”, BfS-SCHR-60/16, September 2016 - <https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2016091214084/3/BfS-SCHR-60-16.pdf>
- [8] SSM, Swedish Radiation Safety Authority, “Review of Swedish emergency planning zones and distances”, Report 2017:27e, May 2019 - <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/1202f8b253ff4938aeca133c6e642818/appendix-1.pdf>
- [9] Bellasio R., S. Scarpato, R. Bianconi and P. Zeppa, “APOLLO2, a new long range Lagrangian particle dispersion model and its evaluation against the first ETEX tracer release” Atmospheric Environment, 57, 244-256, 2012
- [10] HERCA & WENRA Report, “HERCA-WENRA Approach for a better cross-border coordination of protective actions during the early phase of a nuclear accident”, 22 October 2014 - [https://www.wenra.eu/sites/default/files/news\\_material/herca-wenra\\_approach\\_for\\_better\\_cross-border\\_coordination\\_of\\_protective\\_actions\\_during\\_the\\_early\\_phase\\_of\\_a\\_nuclear\\_accident.pdf](https://www.wenra.eu/sites/default/files/news_material/herca-wenra_approach_for_better_cross-border_coordination_of_protective_actions_during_the_early_phase_of_a_nuclear_accident.pdf) - <https://www.herca.org/documents/page/6/>
- [11] ISIN, 11 agosto 2022, <https://www.isinucleare.it/it/notizie/lapprofondimento-situazione-alla-centrale-zaporizhzhya-cosa-accaduto-cosa-potrebbe-accadere>
- [12] A Rizzo, E.Borra, “Quando il nucleare per la pace può diventare un’arma: i rischi di un attacco militare alla centrale ucraina di Zaporizhzhia”, Scienza e Pace, Vol. XIII, N. 1 (2022) - <https://doi.org/10.13131/unipi/0c38-sv50>
- [13] A.Rizzo, ENEA, Comunicazione privata
- [14] Rapporto Tecnico ISIN, “Valutazioni sulla compatibilità di scenari incidentali conseguenti ad eventi bellici che dovessero interessare le centrali nucleari di potenza ucraine, con gli scenari previsti dal Piano Nazionale per la gestione delle emergenze radiologiche e nucleari di cui al Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 14 marzo 2022 - Focus sulla centrale ucraina di Zaporizhzhya”, ISIN/RT/18/2022/CEN, dicembre 2022
- [15] Regolamento (Euratom) 2016/52, “Livelli massimi ammissibili di radioattività per i prodotti alimentari e per gli alimenti per animali a seguito di un incidente nucleare o in qualsiasi altro caso di emergenza radiologica” - <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0052>

- [16] ISPRA, CEVAD, “*Emergenze nucleari e radiologiche-Manuale per le valutazioni dosimetriche e le misure ambientali*”, ISPRA 57/2010 - [https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuali-lineeguida/3447\\_MLG\\_57\\_2010.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuali-lineeguida/3447_MLG_57_2010.pdf)
- [17] ANSA 27 febbraio 2022, 17:08 - [https://www.ansa.it/sito/notizie/mondo/2022/02/27/putin-ordina-allerta-del-sistema-difensivo-nucleare\\_0b24fb58-e57d-49b6-a9c0-02c5e675719c.html](https://www.ansa.it/sito/notizie/mondo/2022/02/27/putin-ordina-allerta-del-sistema-difensivo-nucleare_0b24fb58-e57d-49b6-a9c0-02c5e675719c.html)
- [18] A.Axelsson, P.Kock, J.Johansson, J.Lindgren, A.M.Blixt Buhr, J.Boson, U.Bäverstam, S.Karlsson - SSM Report 2023:05e - “*Radiological Consequences of Fallout from Nuclear Explosions*”, November 2023 - <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/6a9a09c95ba14e3fbd78d911906ba2fa/202305e-radiological-consequences-of-fallout-from-nuclear-explosions.pdf>
- [19] Republic of Austria, Federal Ministry of Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology, Dept. V/8 - Radiation Protection, “*National Emergency Response Plan - Use of nuclear weapons at a greater distance from Austria*”, Vienna 2023 - <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:02dc650d-a627-4956-9054-fad3edf17257/Plan-nuclear-weapons.pdf>
- [20] S.Scarpato, P.Zeppa, G.De Benedetti, L.Codispoti, A.Rizzo, E.Borra, L.Ciciani, F.Rocchi, L.Sperandio, I.Vilardi “*Valutazione dell’impatto a breve termine sul nostro paese dell’esplosione di un ordigno tattico nucleare in Ucraina*” - Rapporto ISIN-ENEA, in pubblicazione

Per tutti i riferimenti a siti o documenti su web, gli ultimi accessi sono stati effettuati ad aprile 2025

### Note

<sup>1</sup> Dalla relazione “Eventi nucleari oltre frontiera: conseguenze e sistema nazionale di risposta”, P.Zeppa - 36° Corso avanzato di radioprotezione medica - Radiazioni: lesività e protezione. 2-6 settembre 2024, Bressanone.

<sup>2</sup> Lo Iodio-131 e il Cesio-137 sono i radionuclidi che in un incidente ad un reattore nucleare caratterizzano maggiormente il termine di sorgente, cioè la radioattività rilasciata all’ambiente esterno .

<sup>3</sup> Per la tipologia dell’impianto e le azioni poste in essere dall’operatore, l’incidente fu tale (esplosione dall’interno dello stesso nocciolo) che pose a disposizione dell’ambiente esterno l’intero contenuto di radioattività del reattore di cui una rilevante parte fu trasportata dai venti, anche a distanze notevoli. Un tale evento non è ipotizzabile possa avvenire in impianti nucleari come quelli oggi in operazione, tra cui quelli ucraini.

<sup>4</sup> Come periodo di studio sono state utilizzate le serie storiche dei dati meteorologici (prodotti e distribuiti dal ECMWF, con risoluzione spaziale di 0,25° e un passo temporale di 6 ore) dell’anno solare che va dal 1 settembre 2021 al 31 agosto 2022. Effettuate 2 simulazioni (ore 00 e ore 12) per ciascuna giornata dell’intero tempo di studio, per un totale di 730 simulazioni. Per il calcolo delle dosi da inalazione in termini di dose equivalente alla tiroide, sono stati considerati i soli contributi dello Iodio-131 e del Tellurio-132. Il rilascio è stato considerato avvenire ad una altezza di 100 m ed avere una durata 2 ore che rappresenta un ulteriore elemento cautelativo se si considera che il rilascio radioattivo nell’incidente di Chernobyl durò all’incirca 10 giorni durante i quali i venti variarono assumendo differenti direzioni che indussero una maggiore dispersione della radioattività.

<sup>5</sup> Per il calcolo dell’esposizione da suolo contaminato nel lungo termine (1 anno), dopo che il provvedimento di riparo al chiuso è cessato (2 gg), si fa riferimento a una permanenza media indoor dell’80% ( $K_{\text{indoor}} = 0,8$ ) e 20% outdoor senza alcuna protezione. Il fattore di protezione offerto dall’edificio entro il quale si risiede, per le due tipologie residenziali è assunto pari a  $K_{\text{building}} = 0,4$  per la casa unifamiliare e  $K_{\text{building}} = 0,1$  per il grande edificio (condominio, scuola...). La relazione che fornisce la stima della dose nel lungo termine è la seguente:

$D = D_{\text{outdoor}} (1 - K_{\text{indoor}}) + D_{\text{outdoor}} K_{\text{indoor}} K_{\text{building}} = K D_{\text{outdoor}}$  con: Casa unifamiliare  $K = 0,52$  e Grande edificio  $K = 0,28$



**Il 37° Corso Avanzato di Radioprotezione Medica si terrà a  
Bressanone dal 1° al 5 settembre 2025**

Non appena completato il programma scientifico saranno aperte le iscrizioni, esclusivamente online, attraverso il sito dell'Associazione.

Come consuetudine, i soci riceveranno una mail di avviso dell'apertura delle iscrizioni.



**FONDATA  
NEL 1977**



*Personalizzare la radioprotezione*