

INDICAZIONI OPERATIVE PER LA VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE CORRELATE A SCENARI EMERGENZIALI STANDARD IN MEDICINA NUCLEARE

INAIL

THE
DEPARTMENT
2024



COLLANA RICERCHE

INDICAZIONI OPERATIVE PER LA VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE CORRELATE A SCENARI EMERGENZIALI STANDARD IN MEDICINA NUCLEARE

INAIL

2024

Pubblicazione realizzata da

Inail

Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

Coordinamento scientifico

Francesco Campanella¹

Autori

Maria Antonietta D'Avanzo¹, Gian Marco Contessa², Marco D'Arienzo³, Massimo Mattozzi¹, Sandro Sandri⁴, Nicola Pace⁴, Patrick Micheli⁵, Edoardo Cavalieri d'Oro⁶, Francesco Campanella¹

Redazione editoriale e grafica

Claudia Branchi¹, Pina Galzerano¹, Emanuela Giuli¹, Laura Medei¹

¹ Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

² Iss - Istituto superiore di sanità

³ ASL Roma 6

⁴ Esperto di radioprotezione

⁵ IBA Protontherapy

⁶ Corpo nazionale dei vigili del fuoco

per informazioni

Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale

Via Fontana Candida,1

00078 Monte Porzio Catone (Roma)

Tel. 06 94181405

dmil@inail.it; fr.campanella@inail.it

www.inail.it

© 2024 Inail

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nelle pubblicazioni, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

ISBN 978-88-7484-849-2

Tipolitografia Inail - Milano, maggio 2024

PREMESSA

L'utilizzo di radionuclidi in ambito sanitario è pratica medica in continua evoluzione e sempre più largamente diffusa, comportando la concretizzazione di scenari di rischio convenzionali complessi, che tanto interesse catturano all'interno della comunità scientifica dei radioprotezionisti, e ai quali il Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro ed ambientale ha già dedicato recentemente più di una pubblicazione scientifica.

Tenuto però conto del fatto che l'art. 174 del d.lgs. 101/2020 richiede, per le finalità autorizzative di cui anche alle unità operative di medicina nucleare, che gli esercenti eseguano valutazioni preventive della distribuzione spaziale e temporale delle materie radioattive eventualmente disperse o rilasciate, nonché delle esposizioni potenziali relative ai lavoratori e all'individuo rappresentativo della popolazione, è parso irrinunciabile completamento degli sforzi editoriali già compiuti dal Dipartimento proporre anche indicazioni operative per la valutazione delle esposizioni potenziali correlate a situazioni emergenziali standard (incendio, allagamento, e terremoto), secondo una priorità ed un livello di approfondimento graduale che partisse dalla considerazione della reale significatività di ciascuno di questi tre scenari. Il lavoro, portato avanti secondo approcci in alcuni casi più quantitativi ed in altri più qualitativi a seconda dei motivi di opportunità ai quali si è fatto riferimento in precedenza, è corredato da relativi casi studio, che potranno essere utilizzati dal lettore come riferimento nei calcoli e nelle valutazioni delle esposizioni potenziali, ispirando protocolli comportamentali 'ad hoc' e azioni di rimedio specifiche, opportunità ancor più preziosa se si considera che al momento non esistono documenti nazionali specifici di riferimento in materia. Così facendo, il Dipartimento ha inteso quindi confermare il proprio impegno a supporto degli esperti di radioprotezione, che sono comunque impegnati nelle complesse valutazioni di cui alla trattazione che segue.

Giovanna Tranfo
*Direttrice del Dipartimento di medicina,
epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale*

INDICE

Introduzione	7
Schema generale del processo di valutazione	10
Misure di prevenzione e protezione	11
Rischio allagamento in medicina nucleare	13
Allagamento locale vasche	13
Caso studio	23
Allagamento laboratorio radiofarmacia	25
Caso studio	28
Misure di prevenzione e protezione	29
Rischio incendio in medicina nucleare	32
Valutazione del rischio incendio in una medicina nucleare	34
Scenario incendio in una medicina nucleare	34
Valutazione dei potenziali rilasci in caso di incendio	42
Caso studio	49
Misure di prevenzione e protezione	58
Conclusioni	61
Bibliografia	64
Riferimenti normativi	66
Acronimi	68
Ringraziamenti	69
Allegato I	73
Normativa antincendio	
Allegato II	87
Piano di emergenza in caso di incendio in medicina nucleare	
Allegato III	89
Analisi qualitativa del rischio sismico in edifici che ospitano nelle strutture sanitarie reparti di medicina nucleare	

INTRODUZIONE

In entrambe le fasi di gestione della vita di una installazione che ospita un'unità operativa (UO) di medicina nucleare (MN), ovvero quella di 'progettazione e realizzazione' e quella 'di servizio', gli obiettivi principali da perseguire sono: minimizzazione del rischio e, poiché il suo azzeramento non è di fatto raggiungibile, gestione del rischio residuo.

L'individuazione di 'scenari incidentali standard', corredati da casi studio esemplificativi, è la modalità nella quale la presente trattazione cerca di supportare il lettore al perseguimento di tali obiettivi, accompagnandolo nell'identificazione di tutti gli elementi di scenario e suggerendo approcci utili alla messa in atto e gestione di contromisure efficaci al fine di salvaguardare la sicurezza dei lavoratori e della popolazione.

Secondo le disposizioni del d.lgs. 101/2020, i soggetti richiedenti l'emanazione del nulla osta per le pratiche ai sensi dell'art. 174 devono infatti eseguire, avvalendosi anche dell'esperto di radioprotezione (ERP), le valutazioni preventive della distribuzione spaziale e temporale delle materie radioattive disperse o rilasciate, nonché delle esposizioni potenziali relative ai lavoratori e all'individuo rappresentativo¹ della popolazione nei possibili casi di emergenza radiologica.

L'ERP incaricato deve quindi dimostrare l'idoneità del sito dove la pratica verrà svolta dal punto di vista della radioprotezione e il rispetto dei requisiti di sicurezza e di radioprotezione. A questo scopo, è chiamato a sottoscrivere anche una valutazione del rischio, che riguardi l'individuazione e l'analisi degli eventuali scenari comportanti esposizioni potenziali, e delle specifiche modalità di intervento al fine di prevenire le esposizioni o di limitarne le conseguenze sui lavoratori e sulla popolazione (Allegato XIV, comma 3.4, punto d) del d.lgs. 101/2020). È utile ricordare che il d.lgs. 101/2020 definisce un'esposizione potenziale come un'esposizione che, pur non essendo certa, può verificarsi in conseguenza di un evento o di una sequenza di eventi di natura probabilistica, tra cui guasti delle apparecchiature o errore operativo. La maggior parte degli scenari incidentali che prevedono il guasto di un'apparecchiatura o un errore operativo presentano caratteristiche fortemente dipendenti dal contesto in cui avvengono, ma nel presente lavoro sono stati investigati scenari incidentali più generalizzabili e relativi ai casi di maggiore interesse in MN, secondo una logica graduale che risulta più quantitativa ed approfondita per quelli più significativi, ovvero incendio e allagamento, e più generica e qualitativa, ma comunque utile, per il terremoto (vedi Allegato III). L'analisi del contesto specifico per la personalizzazione delle

¹ La persona che riceve una dose rappresentativa di quella degli individui maggiormente esposti nella popolazione, escluse le persone che hanno abitudini estreme o rare.

valutazioni introdotte e l'adattamento alla singola realtà operativa è lasciata al lettore.

Tra gli scenari oggetto delle successive valutazioni, l'incendio è sicuramente l'evento eccezionale più frequente e rappresenta, quindi, il primo oggetto di interesse della trattazione, anche perché fa riferimento a tessuti normativi piuttosto compositi. Le strutture ospedaliere per loro natura presentano carichi d'incendio rilevanti e le statistiche registrano numerosi casi di principi d'incendio, essendo strutture pubbliche e per larga parte aperte a libera frequentazione.

L'allagamento, invece, è sempre stato considerato meno probabile e pericoloso, in funzione delle conseguenze ad esso correlate: tale percezione ha determinato, in alcuni casi, scelte costruttive non propriamente ideali, o comunque meno attente di quelle attuate in relazione al rischio da incendio, secondo una logica che però oggi ha sempre meno senso di essere perseguita, anche in virtù della drammaticità che spesso connota i cambiamenti climatici che si stanno verificando nel nostro pianeta. La presenza di acqua, in combinazione con radionuclidi in soluzione, può diventare un fattore amplificatore e propagatore del rischio radiologico, ed ecco perché nulla al riguardo può essere trascurato.

Il rischio da terremoto è certamente quello in linea di principio meno concretamente impattante in una UO di MN, ma appare logico e persino ovvio dedicare comunque ad esso un allegato del presente lavoro, sempre ricordando che il territorio del nostro Paese è a significativo rischio sismico, e questo non va mai sottovalutato da chi fa radioprotezione, in particolare in installazioni che utilizzano sorgenti radioattive in forma sigillata e non.

A differenza delle esposizioni pianificate, per cui l'ERP può direttamente procedere a una stima di dose al lavoratore e all'individuazione di misure atte all'ottimizzazione, nel caso delle esposizioni potenziali derivanti da scenari quali quelli testé introdotti, l'analisi deve necessariamente partire da una ricognizione dei possibili eventi che potrebbero portare a tale esposizione.

Un'esposizione potenziale, infatti, si configura non come una semplice deviazione non significativa dalla normale esposizione del lavoratore nel corso della sua routine lavorativa, bensì come un'esposizione significativa dovuta a un evento che, per quanto ipotizzato e forse in alcuni casi atteso, non solo non ha la certezza di verificarsi, anzi, la cui probabilità di accadimento è direttamente influenzata dalle soluzioni tecniche implementate nel sito specifico.

Eventi di questo tipo sono necessariamente caratterizzati da una bassa probabilità di accadimento e le informazioni disponibili in letteratura, riguardo eventi accaduti che possono aiutare la stima di tale probabilità, al momento non sono né omogenee né strutturate su base nazionale secondo un modello di REX: *'return of experience'* comune.

L'altro aspetto da valutare, nell'analisi dell'ERP, è l'entità dell'esposizione potenziale. La modalità in cui avviene l'esposizione, una volta dato lo scenario di svolgimento dell'evento incidentale, non è necessariamente lineare: a seconda dei

dispositivi di allarme, delle misure di protezione e delle procedure codificate presso l'installazione, l'esposizione può raggiungere livelli più o meno rilevanti e coinvolgere in maniera diversa, per modalità ed estensione, sia i lavoratori sia le persone del pubblico.

Il compito dell'ERP non si limita però all'individuazione degli scenari comportanti esposizioni potenziali, ma comprende l'individuazione di specifiche modalità che possano prevenire o limitare l'entità di tali esposizioni, sempre nel rispetto del principio di ottimizzazione così come descritto dalla letteratura internazionale e dal corpo normativo nazionale.

Per tutti questi aspetti è necessario fare affidamento su competenze trasversali ed elevata conoscenza delle caratteristiche ingegneristiche di alcune componenti fondamentali delle installazioni seguite, al fine di individuare le migliori scelte progettuali e organizzative che possano prevenire o limitare l'entità delle esposizioni.

È bene, infine, ricordare che le soluzioni individuate devono tener conto sia del principio di realtà, ovvero della loro applicabilità in un ambiente clinico (in particolar modo le soluzioni che impattano direttamente il *workflow* seguito da pazienti e operatori), sia dell'analisi 'costi (risorse necessarie)/benefici'.

Tutti i sopracitati punti, che necessitano di una valutazione dell'ERP, presentano caratteristiche a forte rischio di soggettivazione. Il rischio intrinseco di tale situazione è rappresentato dal fatto che, nel condurre le valutazioni loro richieste sulla stessa tipologia di impianto, ERP diversi possano intraprendere strade diverse individuando, ad esempio, come scenari comportanti esposizioni potenziali situazioni differenti, non reciprocamente riconosciute come possibili e quindi suscettibili di considerazioni differenti.

Questo si riflette in una alta variabilità nelle valutazioni proposte agli enti di controllo da parte degli ERP, con, da una parte, scenari individuati anche molto diversi fra loro e, dall'altra, entità delle esposizioni potenziali che possono presentare differenze significative, anche a parità di scenario individuato.

L'elaborazione di questo testo si propone di fornire indicazioni operative che possano essere utilizzate dagli ERP come riferimento nei calcoli e nelle valutazioni delle esposizioni potenziali, ispirando protocolli comportamentali *ad hoc* e azioni di rimedio specifiche a partire dalla definizione di scenari incidentali emergenziali standard e dalla determinazione qualitativa e quantitativa del termine sorgente relativo, anche attraverso l'analisi di relativi casi studio.

In ogni caso, gli scenari individuati e le esposizioni potenziali valutate dovranno essere contestualizzati in accordo con la realtà di ogni singola installazione, e nella piena libertà dell'ERP di variare i parametri di valutazione individuati e analizzati nel presente testo, quando necessario.

Le situazioni incidentali standard proposte in questo testo sono state individuate secondo un approccio inclusivo e conservativo. Per quanto possibile, gli autori hanno cercato di applicare un concetto generale di 'soglia di rilevanza

probabilistica' degli incidenti proposti, così come suggerito nei testi laea e lcrp, che non trascuri o sottovaluti situazioni incidentali rilevanti ma che, allo stesso tempo, non consideri eventi incidentali a bassissima probabilità di accadimento, cosa che comporterebbe una inutile deviazione di risorse sulla gestione di attività non rilevanti dal punto di vista del rischio radiologico.

Infine, l'obiettivo ulteriore è quello di individuare possibili contromisure standard per prevenire o limitare le esposizioni potenziali analizzate.

Si evidenzia che, quando possibile, questo tema deve essere affrontato in fase di progettazione dell'installazione, in quanto una progettazione *ex novo* potrà avere meno vincoli, e conseguentemente meno compromessi e un diverso bilanciamento tra la minimizzazione e la gestione del rischio, rispetto ad una progettazione che prenda in considerazione una struttura esistente.

Il documento proposto va dunque inteso quale risultato della volontà degli autori di fornire alla comunità scientifica uno strumento che possa essere sia un riferimento operativo sia l'inizio di un percorso per uniformare le valutazioni in ambito di scenari incidentali e conseguenti esposizioni potenziali presso le UO di MN, in modo che la comunità degli ERP possa condividere alcuni punti di partenza per le proprie valutazioni del rischio.

SCHEMA GENERALE DEL PROCESSO DI VALUTAZIONE

Nella fase iniziale del processo di valutazione proposto si identificano i potenziali incidenti che possono coinvolgere le sorgenti radioattive presenti nell'installazione, nell'ambito delle emergenze generiche di incendio e allagamento.

La prima valutazione da effettuare dipende dalle caratteristiche del sito dove sorge la struttura: per ciascuno degli scenari emergenziali individuati si effettua una stima quali/quantitativa delle relative probabilità di accadimento, sulla base dell'esperienza e dei dati storici dell'installazione (o di installazioni simili) e dell'area geografica, come nel caso del terremoto o dell'allagamento, o sulla base di considerazioni tecniche, come nel caso del rischio incendio. In relazione a queste considerazioni gli eventi individuati possono essere distinti tra eventi probabili, per i quali si prosegue la valutazione di impatto radiologico, ed eventi improbabili (per esempio con probabilità molto inferiore a 10^{-2} eventi l'anno, considerata come soglia di rilevanza probabilistica per il presente lavoro), i quali ragionevolmente non richiedono ulteriori valutazioni.

Sulla base delle ipotesi incidentali si identificano i possibili scenari nei casi di emergenza (che dipendono da vari elementi, tra cui tipologia e localizzazione dell'installazione e dei locali utilizzati e tipo di sorgente) e i lavoratori e l'individuo rappresentativo della popolazione che possono essere coinvolti, selezionando il massimo incidente credibile per le fasi successive del processo di valutazione. A questo scopo nell'individuare il termine sorgente ai fini della valutazione delle

esposizioni potenziali si fa riferimento all'attività massima presente. Nella maggior parte delle situazioni incidentali è necessario eseguire una valutazione della frazione del materiale radioattivo che può essere effettivamente disperso in ambiente: ad esempio nel caso di incendio si può considerare l'attività rilasciata durante la combustione e nel caso di allagamento l'attività risospesa per evaporazione dall'acqua contaminata.

Il passo successivo prevede la valutazione della distribuzione spaziale e temporale delle materie radioattive disperse o rilasciate e accumulate nell'ambiente (rilasci aeriformi in atmosfera o scarichi liquidi in fiumi, laghi e mari) nello scenario incidentale preso a riferimento, che può essere eseguita tramite codici di calcolo o specifiche indicazioni operative provenienti dalle norme tecniche internazionali, partendo da precise condizioni al contorno descrittive della situazione incidentale e delle condizioni atmosferiche.

Sulla base dei risultati di questi calcoli si possono valutare le esposizioni potenziali ai lavoratori e all'individuo rappresentativo della popolazione per tutte le vie di esposizione considerate, al fine di verificare l'eventuale superamento dei limiti di dose.

Ai fini dell'ottimizzazione delle condizioni di radioprotezione, si individuano poi le misure per la prevenzione degli scenari di rischio e la minimizzazione delle esposizioni potenziali [Contessa, 2020].

MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

Come già accennato, il calcolo delle esposizioni potenziali parte da un vaglio di scenari incidentali eccezionali ma statisticamente realistici e probabili considerando un tempo di ritorno degli eventi comparabile con la vita nominale delle strutture ospedaliere e il contesto nelle quali operano. La vetustà del patrimonio edilizio ospedaliero, ad esempio, è un elemento che deve essere tenuto in considerazione in questo tipo di analisi. Rimane il fatto che le strutture ospedaliere, essendo strutture sensibili, sono spesso soggette a vincoli e parametri di progettazione estremamente rigidi e severi al fine di garantire in ogni situazione la continuità dell'attività sanitaria fornita alla popolazione: sono in genere accettati danni e disservizi, ma non un totale blocco dell'operatività.

Tale valutazione non si discosta molto da quanto già definito nelle norme tecniche per le costruzioni nell'identificazione degli scenari di studio, pur declinando successivamente in maniera diversa e specifica le valutazioni di merito.

Gli eventi analizzati possono amplificare e modificare sensibilmente la pericolosità e la magnitudo del rischio radiologico ordinariamente controllato e concorrono quindi nel creare situazioni dove la gestione della radioprotezione può diventare estremamente complessa qualora non siano preventivamente progettate ed implementate efficaci mitigazioni.

In fase di progettazione e realizzazione la minimizzazione del rischio può essere ottenuta in maniera efficace identificando *in primis* gli elementi della catena che concorrono alla sicurezza riducendone il numero ai soli strettamente necessari. L'eccesso di complicazione (principalmente impiantistica) e la duplicazione (principalmente in serie) di tali elementi genera infatti una complessiva riduzione e una falsa percezione del livello di sicurezza.

Al contrario, una volta che la catena sia stata semplificata al massimo, privilegiare elementi di sicurezza passivi e ridondare (in parallelo) i *single point of failure* incrementa sensibilmente l'affidabilità dei sistemi di sicurezza sia teorica che all'atto pratico, una volta messi in operazione.

La fase di servizio, pur essendo influenzata in maniera determinante dalle scelte progettuali, non è meno importante della prima. Contrariamente a quanto si possa essere portati a pensare, questa gioca un ruolo fondamentale nella minimizzazione del rischio o, meglio, nel mantenimento del livello di rischio residuo. L'attenta e precisa manutenzione degli ambienti e degli impianti, così come l'esecuzione di ricorrenti test di intervento della catena di sicurezza, sono essenziali per rendere efficace quanto definito in fase di progettazione. Solo in questa maniera si può realisticamente limitare la gestione del rischio residuo all'applicazione di norme e procedure che prevedano l'attivo e preponderante intervento umano.

RISCHIO ALLAGAMENTO IN MEDICINA NUCLEARE

L'allagamento di un'UO di MN può generarsi da eventi esterni atmosferici o da eventi interni, quali guasti e rotture rilevanti negli impianti della struttura ospedaliera.

La prima casistica, seppur statisticamente sempre più rilevante visti i cambiamenti climatici e l'incremento degli eventi atmosferici eccezionali, dipende dalla macro-progettazione della struttura nella sua interezza e non a livello dei singoli reparti. Inoltre, non tutte le strutture presentano un alto livello di esposizione a tale rischio, che è strettamente dipendente dal contesto idrogeologico nel quale la struttura si colloca. Ad ogni modo si ricorda che le strutture devono garantire una 'quota di sicurezza idraulica' tale per cui il rischio, dove presente, sia annullato o fortemente contenuto.

L'allagamento dovuto a cause interne alla struttura rappresenta uno scenario di probabilità maggiore, e altrettanto pericoloso, in quanto l'acqua è una variabile di difficile controllo e contenimento. Nel caso specifico di un'emergenza radiologica, i fattori che influenzano tale scenario sono le quantità di radioattività presenti e il tempo che intercorre tra l'evento incidentale e l'intervento, in quanto questo può avere una relazione diretta con le quantità di radioattività disperse.

ALLAGAMENTO LOCALE VASCHE

Gli scarichi provenienti dalla MN e dalla degenza protetta, e in particolare quelli provenienti dai bagni caldi e dai servizi igienici delle stanze di degenza, devono essere collegati ai sistemi di vasche di decadimento (solitamente indipendenti per diagnostica e terapia). Le tubature che collegano l'UO con i sistemi di vasche non possono essere collegate con altre tubature fredde.

I sistemi di vasche di decadimento dei reflui radioattivi sono in genere costituiti da una serie di vasche Imhoff per la raccolta della componente solida e da un certo numero di vasche di decadimento per la raccolta di escreti liquidi.

Il numero e la volumetria delle vasche di decadimento sono valutati in base al tipo e alle quantità di radionuclidi che confluiscono nel sistema di vasche, al fine di consentirne un adeguato decadimento prima dello scarico. Il numero di vasche e la loro volumetria necessari per la terapia sono solitamente superiori rispetto alla diagnostica, dato che gli isotopi coinvolti sono a più lungo tempo di dimezzamento e le quantità sono maggiori, per cui sono necessari tempi di decadimento maggiori. Lo stato di riempimento delle vasche di decadimento è solitamente controllato mediante un sistema computerizzato che ne gestisce in modo automatico il funzionamento. Il sistema di controllo è remotizzato.

Nel caso di vasche collegate in serie (Figura 1), il sistema include solitamente un sistema di campionamento che consente di misurare in modo automatico la concentrazione di attività presente nell'ultima vasca prima che questa venga scaricata nel sistema fognario; le vasche sono attivate alternativamente (a seconda dello stato di riempimento) e il passaggio di reflui da una vasca all'altra avviene tramite opportune valvole di carico e scarico. L'avviamento è meccanico, gestito da galleggianti.

Nel caso di un sistema di vasche collegate in parallelo, l'impianto è solitamente dotato di sensori che, al raggiungimento di un livello di riempimento prestabilito, interrompono automaticamente il riempimento della vasca e dirottano il passaggio dell'effluente a una vasca vuota.

I cicli di riempimento dei serbatoi di decadimento sono di solito controllati da un sistema a logica programmabile: gli input sono forniti dal sistema di controllo dei livelli che verificano lo stato di riempimento delle singole vasche. L'impianto è solitamente dotato di un sistema di controllo che permette di effettuare varie operazioni, tra cui anche lo scarico nel sistema fognario.

Il sistema di vasche deve essere contenuto all'interno di un catino dotato di una o più pompe di rilancio a immersione installate nel punto più basso, preferibilmente un pozzetto di raccolta acque. Il catino ha la funzione fondamentale di contenere eventuali fuoriuscite accidentali di liquame radioattivo dovute a eventuali cedimenti e/o rotture strutturali e/o malfunzionamenti dei sensori e/o delle elettrovalvole. Il catino può essere ottenuto con un muretto di contenimento all'interno della stanza oppure creando una vasca di contenimento sotto il livello di calpestio, sormontata da una grata calpestabile; le dimensioni del catino di contenimento sono calcolate in modo da ritenere l'intero contenuto di almeno una vasca di raccolta.

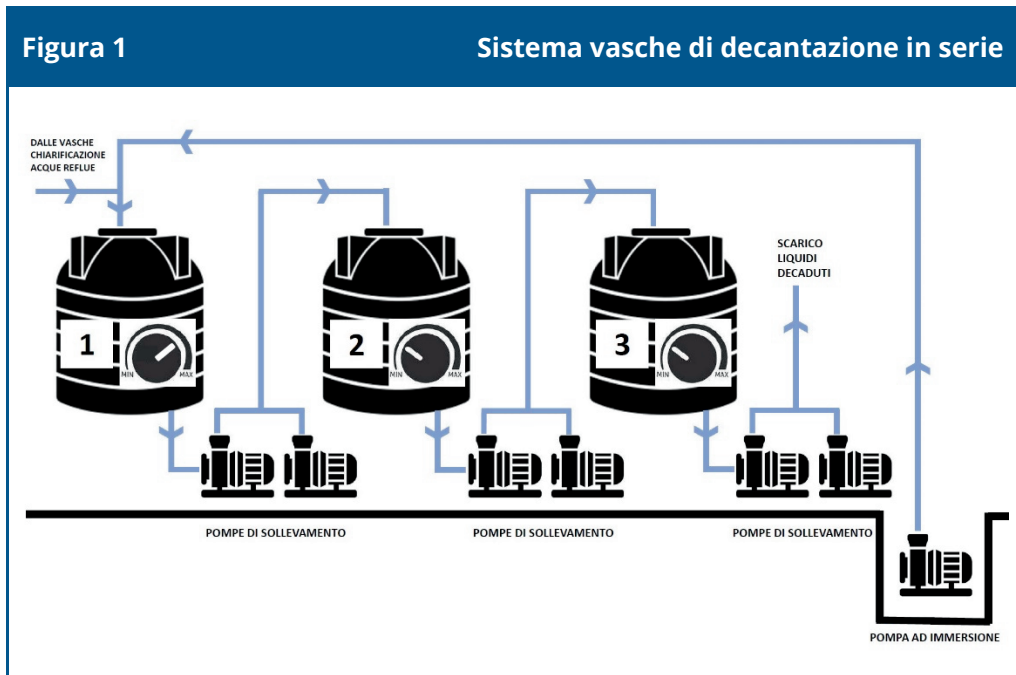
Il locale è dotato di un pozzetto di raccolta in cui è presente un sensore che rileva la presenza di liquido; in caso di eventuali sversamenti o allagamenti, un allarme segnalerà la presenza del liquido nel pozzetto che potrà essere convogliato all'interno delle vasche.

Qualora sia presente una griglia rialzata alla superficie del catino di contenimento è possibile effettuare l'ispezione e la manutenzione dell'impianto anche in caso di rottura di una delle vasche.

Il locale vasche di raccolta è usualmente situato in un'area servizi non frequentata da lavoratori o individui della popolazione.

Anche se è un'area a bassa frequentazione, data la presenza di elevate quantità di radioattività nei liquami, le linee guida e i documenti di buone prassi nazionali e internazionali raccomandano per il locale vasche un numero di ricambi d'aria tra 5 e 10 per ora [Iaea, 2009; Iaea, 2020; Inail, 2020]. In ogni caso, la scelta di un sistema di ventilazione forzata dipende dalle valutazioni dell'ERP, in funzione anche delle concentrazioni e delle proprietà dei radionuclidi presenti. L'unità di trattamento

dell'aria (UTA) che gestisce questi ambienti deve essere a tutt'aria esterna, senza quindi ricircolo.



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Scenario incidentale di allagamento

Si considera il caso di un locale vasche di raccolta degli escreti dei pazienti con le caratteristiche organizzative descritte nel paragrafo precedente e dotato un sistema di vasche connesse in serie.

L'analisi del massimo incidente credibile in caso di allagamento parte dal considerare una situazione di *multiple-fault conditions*.

La prima condizione di guasto nello scenario incidentale descritto prevede una rottura nella tubazione che collega la prima con la seconda vasca. La rottura può essere accidentale o generata da un errore umano nella manutenzione.

Lo scenario di incidente che ne consegue si verifica quindi durante la fase di svuotamento della prima vasca calda, al raggiungimento del livello massimo di riempimento consentito, nella vasca successiva, con versamento del contenuto all'interno del catino nel locale in seguito alla mancata tenuta del tubo di collegamento.

La seconda condizione di guasto prevede un malfunzionamento meccanico, ossia il fallimento dell'eventuale sistema di pompe di rilancio che dovrebbero aspirare il liquido versato nel catino convogliandolo di nuovo nelle vasche di raccolta; questo

errore meccanico causa l'accumulo di liquido contaminato all'interno del catino e dunque l'allagamento del locale vasche.

Conservativamente, si considera tale scenario in orario notturno o in un giorno non lavorativo, con tempi di intervento prolungati e assunzione che i liquidi contaminati si riversino completamente dalla prima vasca al catino di raccolta.

Si assume che, in caso di sversamento, il sistema presenti un allarme di anomalia al gestore (ad es. allarme riempimento del catino di raccolta, allarme di flusso a monte della seconda vasca, ecc.) che consente l'attivazione delle procedure di emergenza per l'intervento del personale reperibile, che si presuppone raggiunga il sito nell'arco di un'ora.

Si presume che il personale reperibile, adeguatamente formato e addestrato sui rischi specifici, permanga all'interno del locale per un tempo pari a circa 10 minuti necessari per supervisionare la situazione e prendere atto di quanto accaduto, lasciando successivamente il sito per chiamare le squadre di primo intervento e prendere le prime misure di protezione e contenimento. A seconda delle valutazioni dell'ERP, in base alla tipologia di impianto e ai radionuclidi utilizzati, è possibile prevedere lo spegnimento del sistema di ventilazione eventualmente presente.

Il tempo di permanenza del personale reperibile può variare a seconda delle procedure organizzative adottate all'interno dell'ospedale, ed è una delle variabili che determinano la dose ricevuta dal personale coinvolto nella gestione dell'emergenza. La scelta del valore di 10 minuti è basata su considerazioni generali ed è finalizzata esclusivamente a caratterizzarne l'ordine di grandezza, in modo tale da permettere una valutazione adeguata, anche se non specifica, dell'esposizione degli operatori.

Parimenti, nelle operazioni successive a cura delle squadre di intervento chiamate a risolvere il guasto, lo scenario incidentale sarà lo stesso, con una caratterizzazione dell'esposizione potenziale che dallo scenario di primo intervento dovrà essere modulata a seconda dei tempi previsti di permanenza nei locali interessati dall'intervento e del decadimento dei radionuclidi contenuti all'interno dei liquidi contaminati.

Analisi del rischio radiologico

Nello scenario di massimo incidente credibile presentato in questo documento si presuppone che all'interno della vasca coinvolta nello sversamento sia contenuta circa metà della massima attività che può essere presente nel sistema di vasche. Questa ipotesi è plausibile anche se conservativa, in quanto solitamente l'attività che è stata calcolata come potenzialmente presente in un sistema di vasche in serie è contenuta nelle prime due, mentre le successive sono quasi 'fredde'. Nel caso di radionuclidi a breve tempo di dimezzamento (ad es. fluoro) l'attività presente nelle vasche si può considerare quasi totalmente contenuta nella prima vasca.

Il contaminante radioattivo che si trova nel liquame versato sul pavimento, secondo le proprietà chimico-fisiche che caratterizzano la molecola in cui è presente, ha la possibilità di risospendersi in aria; in base a queste proprietà, dopo un'ora dall'inizio dell'incidente (tempo necessario al personale reperibile per raggiungere il sito) una certa percentuale della quantità inizialmente presente nella vasca può essersi dispersa in aria.

Il personale chiamato in reperibilità costituisce il gruppo di lavoratori suscettibili di ricevere le dosi più alte, essendo esposto contemporaneamente a rischi di tipo radiologico diversi a seconda del radionuclide sversato.

In tutti i casi:

- irradiazione diretta dalla massa di acqua contaminata sul pavimento.

Nei casi in cui la molecola che contiene il radionuclide si risospenda in aria:

- inalazione di aria contaminata;
- irradiazione diretta da immersione nella nube di aria contaminata.

Se si prevede la risospensione di radionuclidi, in considerazione dei tre rischi radiologici potenzialmente presenti nel locale vasche si ipotizza che, a seconda delle valutazioni dell'ERP incaricato, all'entrata del sito o in una zona facilmente raggiungibile, sia disponibile per il personale esposto della struttura una maschera facciale dotata di filtro specifico per la protezione dai radionuclidi utilizzati nell'UO di MN.

Al momento di arrivo nel sito in seguito a chiamata, il personale in reperibilità, essendo conscio degli eventuali rischi connessi all'attivazione dell'allarme, prima di entrare nel locale vasche deve indossare la maschera facciale in dotazione.

Dal momento che, nello scenario considerato, si presuppone che tutto il liquame contenuto nella vasca danneggiata sia già versato a terra al momento dell'arrivo dei reperibili, ogni altro operatore implicato nella prima fase di gestione dell'emergenza, entrando in azione in tempi successivi a quelli del personale reperibile, si trova coinvolto con quantità inferiori di contaminante radioattivo in seguito al decadimento fisico dei radionuclidi considerati.

Questa considerazione non vale per le quantità di contaminante risospeso, la cui concentrazione in aria aumenta col passare del tempo, ma l'utilizzo delle maschere facciali protegge dal rischio di inalazione tutti gli operatori che arrivano sul sito dopo i reperibili e vengono edotti sui rischi presenti.

Esposizioni potenziali degli operatori di primo intervento

Come detto, gli operatori di primo intervento possono essere esposti contemporaneamente a tre rischi di tipo radiologico:

- irradiazione diretta dalla massa di acqua contaminata sul pavimento;
- inalazione di aria contaminata;
- irradiazione esterna da immersione nella nube di aria contaminata.

Nel caso di sversamento di radionuclidi che non si risospendono in aria, il rischio da considerare sarà solo il primo di questi; conservativamente, nel presente documento si analizza il caso in cui il radionuclide sia risospeso in aria.

La dose totale all'operatore è la somma dei tre contributi da inalazione, immersione in aria e irradiazione esterna.

La dose efficace dovuta al contributo di più radionuclidi può essere calcolata in prima approssimazione come la somma delle dosi dovute ai singoli radionuclidi.

Si considera in maniera conservativa che tutta l'acqua contenuta nella vasca che perde sia già riversata nel locale al momento dell'arrivo degli operatori di primo intervento.

Per quanto riguarda l'esposizione esterna, la dose efficace da irradiazione diretta dalla massa d'acqua contaminata contenente il radionuclide i può essere calcolata mediante software quali Microshield® (<https://www.radiationsoftware.com/microshield>), considerando la sorgente come un parallelepipedo di acqua contaminata e valutando la dose efficace al personale a una certa altezza.

Per una valutazione più generica si può calcolare questo contributo di dose utilizzando il coefficiente di irradiazione diretta da suolo contaminato [US EPA, 2019; CEVAD, 2010; US DOE, 1988], che suppone che l'operatore sia in piedi su un piano infinito con una concentrazione uniforme di contaminante; questo approccio porta a una sovrastima della dose, in quanto considera un piano contaminato con l'individuo esposto al centro e, in alcuni casi, non considera l'effetto di assorbimento dovuto alla massa d'acqua in cui il contaminante è diluito. In questo caso la dose da irradiazione diretta dal suolo è data da:

$$E_{irr,i} = e_{irr,i} \cdot t_e \cdot C_i$$

dove:

- $E_{irr,i}$ = dose efficace dovuta al radionuclide i [mSv];
- $e_{irr,i}$ = coefficiente di dose per il radionuclide i [(mSv/h)/(Bq/m²)];
- t_e = tempo di esposizione [h];
- C_i = concentrazione di attività al suolo relativa al radionuclide i [Bq/m²].

Per quanto riguarda l'inalazione di aria contaminata, la quantità di attività risospesa in aria si calcola utilizzando un coefficiente di risospensione da acqua in aria.

Con un approccio conservativo si può utilizzare il coefficiente di risospensione dello ¹³¹I, pari a circa 0,1% h⁻¹ [Ramsey, 1980; Gomez Palacios, 1999], in quanto lo iodio è il più volatile tra tutti i radionuclidi utilizzati in MN sia per diagnostica che per terapia (lutezio, fluoro, gallio, indio, ecc.).

Il rateo di concentrazione di attività risospesa in aria è pari a:

$$S(t) = \frac{r \cdot A}{V}$$

dove:

- $S(t)$ = rateo di concentrazione di attività risospesa dall'acqua all'aria [$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$];
- r = coefficiente di risospensione del radionuclide in aria [s^{-1}];
- A = attività dispersa all'interno della massa d'acqua contaminata [Bq];
- V = volume del locale vasche [m^3].

Secondo le più recenti norme di buona prassi, nel locale vasche è raccomandabile un numero di ricambi d'aria tra 5 e 10 [h^{-1}] [laea, 2009; laea, 2020; Inail, 2020]. Assumendo di conseguenza il numero di ricambi d'aria R espresso in [s^{-1}], il numero di nuclei radioattivi per unità di volume in aria, $n(t)$ [m^{-3}], rilasciati durante la risospensione, è descritto dalla seguente equazione [Contessa, 2023; Rizzo, 2022]:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{rN}{V} - \lambda n(t) - Rn(t)$$

dove:

- rN/V = numero di nuclei per unità di volume risospesi dall'acqua in aria [$\text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$];
- N = numero di nuclei in acqua;
- r = coefficiente di risospensione del radionuclide in aria [s^{-1}];
- λ = costante di decadimento del radionuclide prodotto [s^{-1}];
- V = volume del locale [m^3].

Questa equazione può essere integrata per ottenere il numero di nuclei in aria dopo un certo intervallo di tempo t :

$$n(t) = \left(\frac{rN/V}{\lambda + R} \right) \{1 - \exp[-(\lambda + R)t]\}$$

Sostituendo la formula dell'attività in funzione del tempo $A(t) = \lambda \cdot n(t)$, si ottiene la concentrazione di attività $C(t)$ [Bq/m^3] all'interno della stanza quando la ventilazione è accesa:

$$\begin{aligned} C(t) &= \left(\frac{\lambda rN/V}{\lambda + R} \right) \{1 - \exp[-(\lambda + R)t]\} \\ &= \left(\frac{S}{\lambda + R} \right) \{1 - \exp[-(\lambda + R)t]\} \end{aligned}$$

dove:

- $C(t)$ = concentrazione di attività in aria nel locale vasche al tempo t [Bq/m^3];
- $S(t) = \lambda rN/V = rA(t)/V$ = tasso di attività risospesa dall'acqua in aria per unità di volume [$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$];

- $R = v_R/V$ = numero di ricambi d'aria per unità di tempo [s^{-1}], con v_R tasso di flusso dell'aria [m^3/s] e V volume del locale vasche [m^3].

Sulla base di questi presupposti, la dose da inalazione di aria contaminata per il radionuclide i è data da:

$$E_{inal,i} = e_{inal,i} \cdot v \cdot t_e \cdot C_i(t_e)$$

dove:

- $E_{inal,i}$ = dose efficace impegnata dovuta al radionuclide i [mSv];
- $e_{inal,i}$ = coefficiente di dose da inalazione per il radionuclide i [mSv/Bq];
- v = volume d'aria inalato dal lavoratore nell'unità di tempo [m^3/h];
- t_e = tempo di esposizione [h];
- $C_i(t_e)$ = concentrazione in aria del radionuclide i calcolata all'istante t_e [Bq/ m^3].

La stima della dose è conservativa in quanto utilizza il valore di concentrazione di attività in aria $C_i(t_e)$ all'istante finale t_e , ossia il valore massimo nell'intervallo di tempo in cui gli operatori di primo intervento permangono nel locale.

Dal momento che lo scenario emergenziale è al chiuso, si considera pari a 1 la frazione respirabile dell'attività risospesa in aria.

Per quanto riguarda l'esposizione esterna dovuta a immersione in aria contaminata, utilizzando il fattore di conversione $e_{imm,i}$ [(mSv/h)/(Bq/ m^3)], è possibile valutare la dose efficace da irradiazione diretta da una nube contaminata uniformemente:

$$E_{imm,i} = e_{imm,i} \cdot t_e \cdot C_i(t_e)$$

dove:

- $E_{imm,i}$ = dose efficace per il nuclide i [mSv];
- $e_{imm,i}$ = coefficiente di dose per il radionuclide i [(mSv/h)/(Bq/ m^3)];
- t_e = tempo di esposizione [h];
- $C_i(t_e)$ = concentrazione in aria del radionuclide i calcolata all'istante t_e [Bq/ m^3].

La dose totale ricevuta sarà data dalla somma di tutti i contributi da considerare nel caso specifico.

Esposizioni potenziali della popolazione (modello analitico di rilascio)

L'eventuale presenza del sistema di ventilazione nel locale vasche implica il rilascio del contaminante potenzialmente disperso nell'aria della sala dal condotto di scarico dell'ospedale.

Al momento dell'arrivo sul sito, il personale reperibile, accorgendosi della presenza di potenziale contaminazione in aria, spegne il sistema di ventilazione (in

particolare, il sistema di ripresa dell'aria) e blocca così il rilascio verso l'esterno, se prescritto dall'ERP incaricato in base al tipo e alla quantità di radionuclidi presenti. Secondo questi presupposti, il rilascio ha una durata di circa 1 ora e 10 minuti, partendo dal momento di inizio dell'incidente fino a quando il personale reperibile si rende conto della potenziale risospensione del contaminante dal pavimento nell'aria del locale e blocca l'uscita di aria contaminata. L'aria espulsa all'esterno, prima che venga rilasciata nell'ambiente circostante, deve passare attraverso un sistema di filtri ad alta efficienza appropriati alla natura e alla quantità dell'effluente [UNI 7496:1975; UNI EN 1822:2010], quali ad esempio filtri al carbone attivo nel caso di utilizzo di isotopi dello iodio. Nei calcoli si considera dunque un coefficiente di abbattimento f dovuto all'efficienza dei filtri nel trattenere lo specifico contaminante radioattivo considerato.

L'attività A_{out} [Bq] rilasciata all'esterno del locale (a ogni cambio d'aria) può essere valutata come la differenza tra l'attività all'interno del locale quando non c'è ventilazione ($R = 0$) e l'attività nel locale quando la ventilazione è attiva [Contessa, 2023], cioè quando ci sono R cambi d'aria. Quindi, l'attività $A_{out}(t)$ rilasciata all'istante t è pari a:

$$A_{out}(t) = [A_{C,in}(t)(R = 0) - A_{C,in}(t)] \cdot V = \left(\frac{S}{\lambda}\right) \{1 - \exp[-\lambda t]\} - \left(\frac{S}{\lambda + R}\right) \{1 - \exp[-(\lambda + R)t]\} \cdot V$$

Il rateo di rilascio Q [Bq/s] può essere stimato moltiplicando l'attività rilasciata A_{out} per il numero di cambi d'aria R :

$$Q = A_{out}(t) \cdot R$$

Nello scenario incidentale più semplice e più pessimistico si assume che la concentrazione del radionuclide i nel punto di interesse sia uguale alla concentrazione del radionuclide i nel punto di rilascio, cioè che l'individuo rappresentativo della popolazione [d.lgs. 101/2020] sia una persona che si trova proprio di fronte al condotto di scarico.

In questo caso la concentrazione di contaminante i in aria al punto di interesse dove è collocato il recettore è:

$$C_i(t) = f \cdot Q_i/v$$

dove:

- $C_i(t)$ = concentrazione del radionuclide i in aria al punto di interesse calcolata all'istante t [Bq/m³];
- Q_i = rateo di rilascio del radionuclide i [Bq/s];
- v = portata volumetrica della presa d'aria o dello scarico nel punto di rilascio [m³/s];

- f = fattore di abbattimento del sistema di filtri [10^{-2}].

Per una valutazione ugualmente conservativa ma più realistica si può utilizzare il modello a pennacchio, ampiamente descritto in letteratura [Sullivan, 1992], secondo il quale il rilascio avviene preferibilmente in un pennacchio orientato nella direzione del vento (con velocità u).

Secondo il modello nel caso di rilascio di attività a un rateo di Q_i a una distanza di X m (oltre i 30 m) si ha una concentrazione C_i [Bq/m^3] del radionuclide i pari a:

$$C_i(t) = 18 \frac{f \cdot Q_i}{u \cdot X^2}$$

utilizzando la stessa notazione dell'equazione precedente. La valutazione si effettua nell'ipotesi più conservativa con condizioni di elevata stabilità atmosferica e velocità del vento bassa ($u = 1$ m/s).

Questo approccio si può applicare considerando come individuo rappresentativo della popolazione un individuo a una distanza di 100 m dal punto di rilascio, all'interno delle pertinenze dell'ospedale stesso.

La dose totale all'individuo rappresentativo è la somma dei due contributi da inalazione e immersione in aria, e può essere calcolata con le stesse formule del paragrafo precedente.

Dunque, la dose da inalazione di aria contaminata è pari a:

$$E_{\text{inal},i} = e_{\text{inal},i} \cdot v \cdot t \cdot C_i(t)$$

e quella da irradiazione diretta dalla nube è:

$$E_{\text{imm},i} = e_{\text{imm},i} \cdot t \cdot C_i(t)$$

Il valore calcolato è sovrastimato in quanto si presuppone che per tutto il tempo l'individuo rappresentativo sia esposto a una concentrazione di aria di contaminante corrispondente alla massima concentrazione presente nel locale da cui avviene il rilascio nell'arco di tempo considerato, ossia come se durante tutto il tempo di rilascio la concentrazione in aria nel locale avesse il valore del momento in cui viene spento il sistema di ventilazione da parte del personale reperibile.

La dose totale ricevuta da un individuo della popolazione a seguito di un evento incidentale sarà data dalla somma di tutti i singoli contributi. La dose efficace dovuta al contributo di più radionuclidi può essere calcolata come la somma delle dosi dovute ai singoli radionuclidi.

CASO STUDIO

Nel caso studio presentato si descrive un massimo incidente credibile nel locale vasche con un sistema di vasche collegato in serie, considerando lo scenario descritto nel paragrafo '*Scenario incidentale di allagamento*', in cui l'intero contenuto della vasca più "calda" si versa all'interno dell'area del catino del locale vasche.

Come isotopo radioattivo lo ^{131}I per la terapia e lo ^{124}I per la diagnostica, in quanto lo Iodio è il più volatile tra tutti i radionuclidi utilizzati in MN sia per diagnostica che per terapia (lutezio, fluoro, gallio, indio, ecc.), con un coefficiente di risospensione pari a circa $0,1\% \text{ h}^{-1}$ [Ramsey, 1980; Gomez Palacios, 1999].

Inoltre, tra tutti i radionuclidi, per quanto riguarda la dose da inalazione lo ^{131}I ha anche il più alto coefficiente di dose da inalazione.

Nel caso della dose da irraggiamento diretto dalla massa d'acqua contaminata, i più alti coefficienti di dose sono quelli di ^{18}F , ^{68}Ga , ^{124}I e ^{131}I , ma comunque lo ^{131}I e lo ^{124}I rimangono gli isotopi di elezione dal momento che le quantità utilizzate in MN sono generalmente superiori rispetto agli altri radionuclidi menzionati.

Si considera un locale con 3 vasche per la terapia da 7 m^3 ciascuna, in cui sono presenti in tutto 60 GBq di ^{131}I ; la prima vasca, che si stima contenere circa metà dell'attività totale, si è vuotata nel locale, per cui la massa di acqua contaminata ha un volume di 7 m^3 con 30 GBq di ^{131}I . Nel caso del locale vasche per la diagnostica si presuppone un versamento di 22 MBq di ^{124}I .

Come dimensioni del locale si considera una superficie 50 m^2 ($7,07 \cdot 7,07 \text{ m}^2$) e altezza 3 m ; il volume libero è dunque 150 m^3 a cui bisogna sottrarre la volumetria delle 3 vasche, ottenendo un volume libero complessivo di circa 130 m^3 .

La massa d'acqua contaminata di volume 7 m^3 ha quindi una base di 50 m^2 e un'altezza di $0,14 \text{ m}$.

Si suppone che gli operatori di primo intervento rimangano nel locale per 10 minuti a una distanza media di $3,5 \text{ m}$ dal centro della stanza.

Al fine di valutare il contributo di dose da irradiazione diretta dalla massa di acqua contaminata sul pavimento, lo scenario espositivo è stato simulato con il software Microshield® (<https://www.radiationsoftware.com/microshield>), considerando la sorgente come un parallelepipedo di acqua contaminata e valutando la dose efficace al personale reperibile a 1 m di altezza in geometria AP (Figura 2). Nella simulazione si è supposto che gli operatori di primo intervento rimangano nel locale per 10 minuti a una distanza media di $3,5 \text{ m}$ dal centro della stanza.

Per la stima del contributo di dose da inalazione sono stati utilizzati i coefficienti di dose forniti dall'OIR data viewer dell'Icrp, versione 4.01.04.19, per i lavoratori e i coefficienti della pubblicazione Icrp 119 per la popolazione [Icrp 119, 2012], mentre per il contributo da irradiazione diretta da nube i coefficienti dal tecdoc-1162 della laea e dal documento dello US Department of energy [laea, 2000; US DOE, 1988]. Per il rateo di respirazione sono stati utilizzati i valori di $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ per gli operatori e di $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ per la popolazione.

Si presume che, all'arrivo sul sito, gli operatori indossino maschere facciali dotate di filtri specifici per i radionuclidi rilevanti (efficienza del 99%), scelta che comunque dipende dalle valutazioni effettuate dall'ERP.

In relazione al potenziale rilascio di aria contaminata all'esterno si presuppone che il condotto di ripresa del sistema di ventilazione sia dotato di un sistema di filtri ai carboni attivi con efficienza 99% per il filtraggio dell'aria espulsa prima dell'immissione in ambiente (la cui presenza dipende dalle valutazioni dell'ERP sulla base delle caratteristiche dell'impianto e della tipologia e quantità dei radionuclidi utilizzati); questo valore è estremamente conservativo al fine di delineare uno scenario di massimo incidente, in quanto solitamente si usano banchi di filtri con efficienza fino al 99,99%, che abbattano quasi completamente le emissioni.

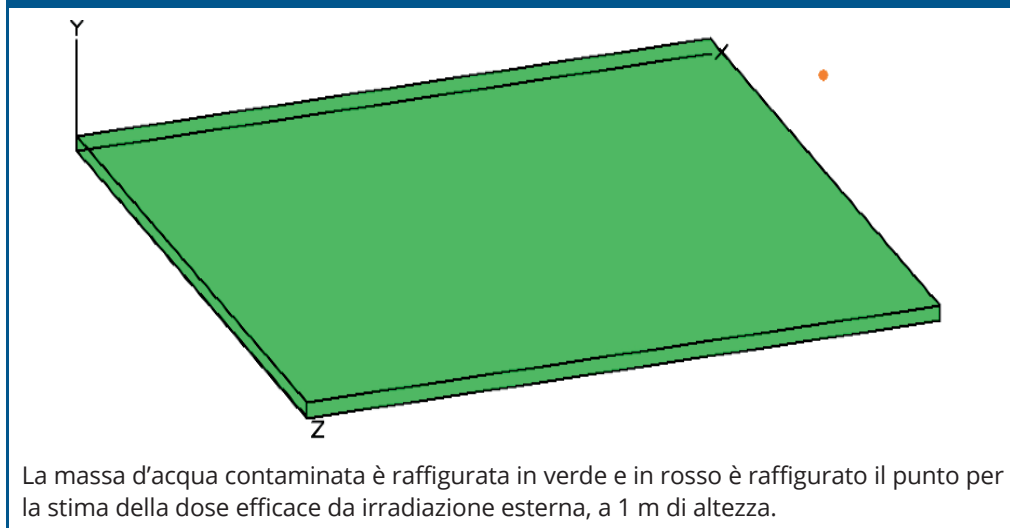
Come individuo rappresentativo della popolazione si considera una persona a 100 m di distanza dal punto di rilascio. La valutazione di dose è effettuata utilizzando il modello a pennacchio (vedi paragrafo *Esposizioni potenziali della popolazione*).

I risultati delle valutazioni sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 Dosi efficaci agli operatori di primo intervento e all'individuo rappresentativo della popolazione dovute ai diversi contributi nei due casi dei locali per terapia e diagnostica			
	Irradiazione diretta dalla nube (μSv)	Inalazione (μSv)	Irradiazione diretta dal pavimento (μSv)
Operatore di primo intervento			
Terapia (^{131}I)	0,6	1	24
Diagnostica (^{124}I)	$1 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	0,04
Popolazione a 100 m			
Terapia (^{131}I)	$7 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-3}$	-
Diagnostica (^{124}I)	$1 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$	-

Figura 2

Scenario espositivo simulato con software specifico



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

ALLAGAMENTO LABORATORIO RADIOFARMACIA

Le sorgenti radioattive che si trovano nei laboratori di radiofarmacia sono non sigillate, normalmente contenute in flaconi a tenuta, a loro volta inseriti in contenitori schermati, e per la maggior parte del tempo sono collocate sui ripiani interni delle celle schermate.

Solo durante il temporaneo utilizzo (in fase di preparazione delle dosi, somministrazione o come rifiuti radioattivi), e in quantità notevolmente inferiori, si trovano sui banchi di manipolazione, a una altezza di circa un metro dal pavimento e sempre sotto il controllo dell'operatore che le sta utilizzando all'interno delle celle schermate.

Generalmente, alla base delle celle schermate utilizzate nelle radiofarmacie sono presenti compartimenti chiusi da sportelli, spesso utilizzati anche per conservare compresse e generatori che, mediante un apposito dispositivo, vengono fatti salire fino al piano di lavoro.

Nel presente documento si prende in considerazione come esempio di sorgente radioattiva una capsula di iodio per terapia, racchiusa in un contenitore di piombo; per somministrare al paziente queste compresse si avvia il dispenser sul contenitore, che diventa un bicchierino. La compressa, dunque, non esce mai dal contenitore di piombo. Si assume nel laboratorio di radiofarmacia la presenza di

un sistema di ventilazione che garantisca almeno 10 ricambi orari [Iaea, 2009; Iaea, 2020; Inail, 2020].

Scenario incidentale di allagamento

Nello scenario di massimo incidente credibile presentato in questo documento si considera che, in seguito a un'inondazione che ha interessato la zona circostante, il laboratorio di radiofarmacia sia stato colpito da un'alluvione, con una quota d'acqua che ha raggiunto un'altezza di venti centimetri. Si presuppone dunque che, nella fase iniziale del processo di valutazione degli incidenti possibili nel sito che ospita l'installazione, l'evento di inondazione sia stato classificato come probabile con una stima di frequenza superiore a 10^{-2} eventi l'anno.

In questo scenario, le misure di precauzione descritte nel paragrafo precedente per l'utilizzo delle sorgenti radioattive ne rendono altamente improbabili lo spostamento e la dispersione da parte dell'acqua in caso di allagamento del laboratorio.

L'analisi del massimo incidente credibile in caso di allagamento parte dal considerare una situazione di *multiple-fault conditions*. Una non corretta progettazione dell'UO ha reso la struttura particolarmente vulnerabile all'evento di allagamento, e la presenza di una massa d'acqua di venti centimetri di altezza comporta il coinvolgimento della parte bassa della cella schermata nel laboratorio, dove si presuppone sia conservata una compressa di iodio.

Per un errore umano, il contenitore di piombo all'interno del quale è contenuta la compressa non è stato chiuso correttamente, per cui l'acqua, che ha allagato il laboratorio, penetra nel contenitore e scioglie la compressa, con conseguente dispersione dello iodio nella massa di acqua.

Si presume che il personale reperibile, adeguatamente formato e addestrato sui rischi specifici, raggiunga il sito nell'arco di un'ora e permanga all'interno del laboratorio per un tempo pari a circa 10 minuti necessari per supervisionare la situazione e prendere atto di quanto accaduto, lasciando successivamente il sito per chiamare le squadre di primo intervento e prendere le prime misure di protezione e contenimento, come la chiusura del sistema di ripresa dell'aria verso l'esterno.

Analisi del rischio radiologico

Dati i tempi di risposta previsti da parte del personale di primo intervento, l'ipotesi che una compressa di iodio si scioglia interamente in acqua e si disperda nel laboratorio è conservativa, scelta proprio al fine di prevedere le condizioni di massimo incidente credibile.

Il contaminante radioattivo che si trova disperso nella massa di acqua si risospende in aria, secondo le proprietà chimico-fisiche che caratterizzano la molecola in cui è presente; in base a queste proprietà, dopo un'ora dall'inizio

dell'incidente (tempo necessario al personale reperibile per raggiungere il sito) una certa percentuale della quantità inizialmente sciolta in acqua si è dispersa in aria. Il personale chiamato in reperibilità costituisce il gruppo di lavoratori suscettibili di ricevere le dosi più alte, essendo esposto contemporaneamente a tre rischi di tipo radiologico:

- irradiazione diretta dalla massa di acqua contaminata sul pavimento;
- inalazione di aria contaminata;
- irradiazione diretta da immersione nella nube di aria contaminata.

In considerazione di questi tre rischi radiologici potenzialmente presenti nel laboratorio, si ipotizza che, a seconda delle valutazioni dell'ERP incaricato, all'entrata sia disponibile per il personale esposto della struttura una maschera facciale dotata di filtro specifico per la protezione dai radionuclidi utilizzati.

Al momento di arrivo nel sito in seguito a chiamata, il personale in reperibilità, essendo conscio degli eventuali rischi connessi all'attivazione dell'allarme, prima di entrare nel laboratorio deve indossare la maschera facciale in dotazione.

Esposizioni potenziali degli operatori di primo intervento

Come detto, gli operatori di primo intervento sono esposti contemporaneamente a tre rischi di tipo radiologico:

- irradiazione diretta dalla massa di acqua contaminata sul pavimento;
- inalazione di aria contaminata;
- irradiazione diretta da immersione nella nube di aria contaminata.

La dose totale all'operatore è la somma dei tre contributi da inalazione, immersione in aria e irradiazione esterna.

Si considera in maniera conservativa che compressa si sia già sciolta in acqua al momento dell'arrivo degli operatori di primo intervento e lo iodio sia tutto disperso all'interno del laboratorio.

Per il calcolo dei contributi di dose dovuti alle diverse modalità di esposizione si possono usare le stesse formule riportate nel paragrafo *Esposizioni potenziali degli operatori di primo intervento*.

Esposizioni potenziali della popolazione

Secondo quanto previsto dalle norme tecniche nazionali e internazionali, nel laboratorio di radiofarmacia è presente un sistema di ventilazione [UNI 10491:1995; laea, 2009; laea, 2020; Inail, 2020], che implica il rilascio del contaminante potenzialmente disperso nell'aria del locale dal condotto di scarico dell'ospedale.

Al momento dell'arrivo sul sito, il personale reperibile, accorgendosi della presenza di potenziale contaminazione in aria, spegne il sistema di ventilazione (in

particolare, il sistema di ripresa dell'aria) e blocca così il rilascio verso l'esterno, se prescritto dall'ERP incaricato.

Dunque, il rilascio ha una durata di circa 1 ora e 10 minuti, partendo dal momento di inizio dell'incidente fino a quando il personale reperibile si rende conto della potenziale risospensione del contaminante dalla massa d'acqua nell'aria del laboratorio e blocca l'uscita di aria contaminata.

Per la valutazione del rilascio di contaminante verso l'esterno e della dose all'individuo rappresentativo della popolazione si possono usare le stesse formule riportate nel paragrafo *Esposizioni potenziali della popolazione*.

CASO STUDIO

In questo caso studio, al fine di esemplificare un massimo incidente credibile, si considera lo scenario descritto nel paragrafo *Scenario incidentale di allagamento*, in cui, in seguito a un'inondazione che ha interessato la zona circostante, il laboratorio di radiofarmacia è stato colpito da un'alluvione, con una quota d'acqua che ha raggiunto un'altezza di 20 cm.

Come dimensioni del locale si considera una superficie 12 m^2 ($3 \cdot 4 \text{ m}^2$) e altezza 3 m; il volume libero è dunque 36 m^3 , a cui bisogna sottrarre il volume di 3 m^3 della cella calda, ottenendo un volume libero complessivo di 33 m^3 .

Dunque, in seguito all'alluvione nel laboratorio è presente una massa d'acqua di volume $2,4 \text{ m}^3$ con una base di 12 m^2 e un'altezza di 0,2 m, in cui si sono disciolti 9 GBq di ^{131}I contenuti nella compressa coinvolta nell'incidente.

Al fine di valutare il contributo di dose da irradiazione diretta dalla massa di acqua contaminata sul pavimento, lo scenario espositivo è stato simulato come in precedenza, considerando la sorgente come un parallelepipedo di acqua contaminata e valutando la dose efficace al personale reperibile a 1 m di altezza in geometria AP (Figura 2). Nella simulazione si è supposto che gli operatori di primo intervento rimangano nel locale per 10 minuti a una distanza media di 2 m dal centro della stanza.

Per la stima del contributo di dose da inalazione è stato utilizzato il coefficiente di dose forniti dall'*OIR Data Viewer* dell'Icrp, versione 4.01.04.19, per i lavoratori e i coefficienti dell'Icrp 119 per la popolazione [Icrp 119, 2012], mentre per il contributo da irradiazione diretta da nube il coefficiente dal tecdoc-1162 della laea [laea, 2000]. Per il rateo di respirazione sono stati utilizzati i valori di $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ per gli operatori e di $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ per la popolazione.

Si presume che, all'arrivo sul sito, gli operatori indossino maschere facciali dotate di filtri specifici per i radionuclidi rilevanti (efficienza del 99%), scelta che comunque dipende dalle valutazioni effettuate dall'ERP.

In relazione al potenziale rilascio di aria contaminata all'esterno si presuppone che il condotto di ripresa del sistema di ventilazione sia dotato di un sistema di filtri ai

carboni attivi con efficienza 99% per il filtraggio dell'aria espulsa prima dell'immissione in ambiente (la cui presenza dipende dalle valutazioni dell'ERP sulla base delle caratteristiche dell'impianto e della tipologia e quantità dei radionuclidi utilizzati); questo valore è estremamente conservativo al fine di delineare uno scenario di massimo incidente, in quanto solitamente si usano banchi di filtri con efficienza fino al 99,99%, che abbattano quasi completamente le emissioni.

Come individuo rappresentativo della popolazione si considera una persona a 100 m di distanza dal punto di rilascio. La valutazione di dose è effettuata utilizzando il modello a pennacchio (paragrafo *Esposizioni potenziali della popolazione*).

I risultati delle valutazioni sono riportati in Tabella 2.

Tabella 2 Dosi efficaci agli operatori di primo intervento e all'individuo rappresentativo della popolazione dovute ai diversi contributi			
	Irradiazione diretta dalla nube (μSv)	Inalazione (μSv)	Irradiazione diretta dal pavimento (μSv)
Operatore di primo intervento			
Terapia	0,4	0,6	20
Popolazione a 100 m			
Terapia	$5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-3}$	-

MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

Le considerazioni esposte presentano situazioni standard di gestione del sistema di scarico dei reflui; di seguito sono elencate le principali soluzioni impiantistiche e procedurali che possono essere introdotte al fine di prevenire e, se del caso, limitare le esposizioni accidentali dovute agli scenari di allagamento presentati. Si evidenzia in ogni caso che l'elenco seguente è da ritenersi indicativo e non esaustivo in quanto alcune soluzioni sono strettamente dipendenti dal sito e dal contesto.

Interventi passivi

La prima soluzione di prevenzione consiste nella realizzazione e impermeabilizzazione di un catino contenitivo all'interno del locale vasche, atto a contenere un eventuale sversamento; il catino può essere realizzato in muratura, e la sua impermeabilizzazione può essere ottenuta mediante resinatura o guaina.

Questa, se ben realizzata, impedisce o limita fortemente la contaminazione dell'ambiente e degli elementi strutturali ed evita la propagazione nella struttura del liquame radioattivo. In questo senso, lo sversamento di un'intera vasca di decantazione in questo caso produrrà una esposizione accidentale della squadra di intervento, ma non produrrà effetti al di fuori dei locali destinati a ospitare il sistema di decantazione e scarico.

Soluzioni tecniche

A seconda delle valutazioni condotte dall'ERP incaricato, sugli impianti presenti nel locale vasche possono essere intrapresi diversi interventi migliorativi atti a prevenire o limitare le esposizioni accidentali, fra cui:

- un sistema di ventilazione nel locale vasche, come raccomandato dalle buone prassi riconosciute a livello nazionale e internazionale [Inail, 2022; laea, 2009];
- un banco filtri anticontaminazione a più stadi sul canale di espulsione dell'Uta (per il radioiodio filtri a carbone attivo);
- una ridondanza dei *single point of failure*: sia le pompe che travasano i liquami tra le vasche, sia le pompe di rilancio che si azionano in caso di sversamento dovrebbero essere replicate così da evitare qualsiasi scenario che preveda un loro guasto. Così facendo, la probabilità dello sversamento di una vasca o l'accumulo di liquidi contaminati nel catino di contenimento viene fortemente limitata, rappresentando un importante fattore di prevenzione di esposizione accidentale della squadra di intervento;
- un controllo remoto dei parametri critici e dei guasti dell'impianto.

L'installazione di sensoristica che consenta di controllare da remoto alcuni parametri critici e guasti dell'impianto dovrebbe prevedere:

- segnalazione perdite tubazioni mediante installazione di sensori antiallagamento in corrispondenza delle tubazioni di collegamento delle vasche e nel pozzetto di allagamento predisposto per questo scopo;
- segnalazione guasti pompe;
- segnalazione scatto interruttori di alimentazione pompe;
- segnalazione di flussi anomali in ingresso della prima vasca mediante flussostati o flussometri (a seconda del tipo di attività eseguita e dalla dimensione dell'impianto);
- monitoraggio ambientale del campo di radiazione gamma che, in caso di incidente, renda edotti gli operatori di primo intervento del livello di rischio radiologico, aiutandoli a intraprendere azioni di protezione e mitigazione.

Un efficiente controllo remoto dell'impianto può prevenire situazioni incidentali, con eliminazione delle esposizioni potenziali connesse, ma anche limitare gli effetti di un eventuale guasto, contenendo l'esposizione potenziale connessa.

Manutenzione e verifiche di funzionalità

Tutti gli impianti che concorrono alla sicurezza e che sono raramente utilizzati (vedi pompe di rilancio) dovrebbero essere sottoposti a test di funzionalità con scadenze definite. Inoltre, sarebbe opportuno prevedere test di invio degli allarmi precedentemente impostati.

Tutti gli impianti e i sistemi di controllo remoto devono essere mantenuti in efficienza per poter svolgere la loro funzione di prevenzione e protezione dalle esposizioni accidentali.

Procedure operative

Le seguenti precauzioni e procedure operative dovrebbero essere valutate attentamente e codificate in tutte le strutture nelle quali gli scenari di rischio precedentemente analizzati sono stati valutati come possibili:

- presenza in prossimità del locale reflui di kit DPI adatto (che comprenda, a seconda delle valutazioni dell'ERP, maschere facciali dotate di filtro specifico per i radionuclidi di interesse) e di un dosimetro personale a lettura diretta, così da permettere un intervento in sicurezza del personale coinvolto;
- presenza di una squadra di primo intervento interna, per emergenza idraulica e da incendio, con personale formato e radioesposto, con formazione specifica che preveda esercitazioni periodiche nella gestione di scenari tipo;
- nel laboratorio di radiofarmacia, presenza di una procedura scritta che preveda la conservazione delle capsule di radiofarmaci in armadi sigillati, a una certa altezza dal pavimento.

Eventi di formazione e addestramento delle squadre di intervento, uniti a un kit di intervento atto a prevenire la contaminazione (maschere facciali, stivali in gomma, guanti), possono concorrere all'ottimizzazione delle esposizioni potenziali per le persone coinvolte nell'intervento di ripristino del sistema di scarico.

RISCHIO INCENDIO IN MEDICINA NUCLEARE

L'art. 46 del d.lgs. 81/2008 definisce la prevenzione incendi *'la funzione di preminente interesse pubblico, di esclusiva competenza statale, diretta a conseguire, secondo criteri applicativi uniformi sul territorio nazionale, gli obiettivi di sicurezza della vita umana, di incolumità delle persone e di tutela dei beni e dell'ambiente'*.

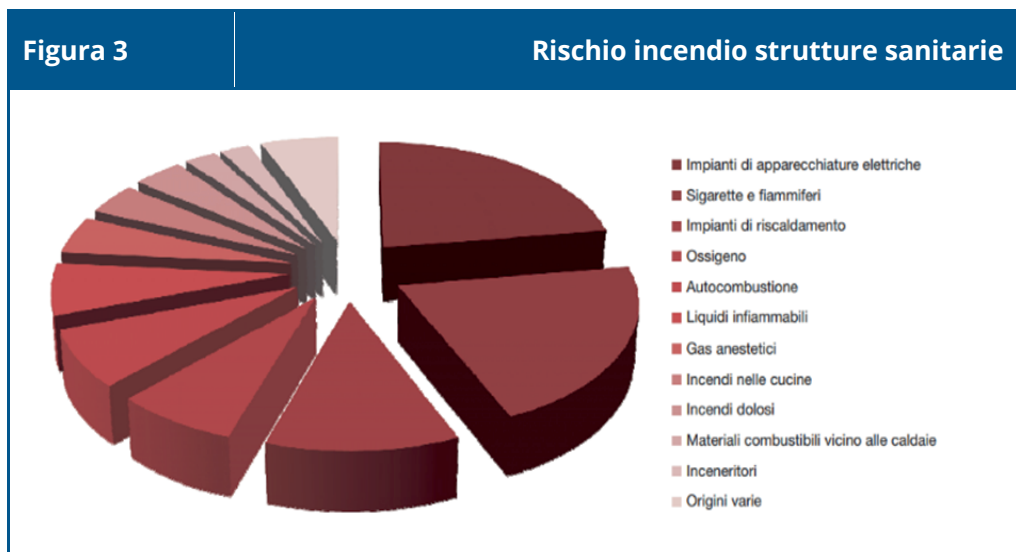
In linea generale, gli obiettivi primari della prevenzione incendi si intendono raggiunti se le attività sono progettate, realizzate e gestite in modo da:

1. minimizzare le cause di incendio o d'esplosione;
2. garantire la stabilità delle strutture portanti per un periodo di tempo determinato;
3. limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno dell'attività;
4. limitare la propagazione di un incendio ad attività contigue;
5. limitare gli effetti di un'esplosione;
6. garantire la possibilità che gli occupanti lascino l'attività autonomamente o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
7. garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza;
8. tutelare gli edifici pregevoli per arte o storia;
9. garantire la continuità d'esercizio per le opere strategiche;
10. prevenire il danno ambientale e limitare la compromissione dell'ambiente in caso d'incendio.

La valutazione preliminare del rischio d'incendio è effettuata analizzando la specifica attività svolta ed è finalizzata all'individuazione delle più severe (ma credibili) ipotesi d'incendio e delle corrispondenti conseguenze per gli occupanti, per i beni e per l'ambiente.

Per quanto riguarda il rischio incendio in una struttura sanitaria, da un'analisi dei dati raccolti dal Corpo nazionale dei vigili del fuoco si è riscontrato che negli anni 80 si è assistito ad un incremento del numero di incendi negli ospedali; questo incremento, molto probabilmente, era dovuto a diversi fattori tra i quali l'introduzione di nuove apparecchiature diagnostiche che richiedevano ingenti quantitativi di energia elettrica (TC, ecografia, RM, PET, ecc.), all'utilizzo di nuovi dispositivi che permettevano di mantenere in vita i malati di alcuni reparti, quali terapia intensiva o rianimazione (respiratori automatici, apparecchiature per emodialisi, sistemi di monitoraggio in continuo, ecc.) e all'utilizzo di sempre più innovative tecnologie di intervento da parte dei chirurghi di sala operatoria. L'introduzione delle nuove tecnologie, tra cui molte ad alta potenza, ha comportato un aumento dell'energia elettrica richiesta spesso accompagnato da non idonei adattamenti degli impianti elettrici, talvolta inadeguati ed obsoleti.

Un prospetto delle cause principali di incendio redatto da Inail e rivisitato dal Comando VVF di Torino, e riportato in Figura 3, mostra, infatti, come nelle strutture sanitarie le cause di incendio siano riconducibili a malfunzionamenti di impianti elettrici e di apparecchiature elettriche. A seguire, la causa principale è riconducibile a sigarette e fiammiferi (nonostante viga il divieto di fumo all'interno delle strutture sanitarie e, sovente, anche nelle relative pertinenze esterne). In sintesi, due indicatori di natura diversa, il primo di natura progettuale e il secondo di natura gestionale, entrambi ricollegati a fattori di complessità tipici delle grandi strutture sanitarie da mettere in relazione con la difficoltà di avere interventi di adeguamento e rinnovamento a favore della sicurezza, spesso molto dispendiosi sia in termini economici che di tempo.



(Comando provinciale vigili del fuoco di Torino - Anzidei P, Barra MI, Belliato R et al. La sicurezza in ospedale - Strumenti di valutazione e gestione del rischio, Fascicolo III. Inail; 2012)

Analizzando invece le possibili conseguenze di un incendio, ipotizzabili all'interno di una struttura sanitaria, queste possono essere:

- L'intossicazione e/o il coinvolgimento fisico sia degli occupanti sia della popolazione esterna dovuti all'inalazione dei prodotti tossici della combustione. Nel caso di un incendio che coinvolga un'UO di MN si aggiunge il rischio radiologico dovuto alla possibile esposizione (sia esterna sia interna) alle sorgenti di radiazione eventualmente coinvolte.
- La perdita economica dovuta all'incendio della strumentazione ed il conseguente disagio sociale dovuto all'interruzione del servizio.

VALUTAZIONE DEL RISCHIO INCENDIO IN UNA MEDICINA NUCLEARE

In linea generale le zone a rischio incendio sono quelle con maggior carico di incendio e con maggiori sorgenti di innesco potenziali. Tuttavia, ai fini dell'analisi radiologica e dei possibili rilasci in atmosfera, si ritiene che in un'UO di MN il laboratorio caldo e il locale deposito rifiuti radioattivi siano le zone più a rischio in quanto al loro interno sono presenti le maggiori quantità di materiale radioattivo. Una volta preparate le quantità di radiofarmaco nelle apposite siringhe, queste vengono inserite in un contenitore dedicato e trasferite nella sala di somministrazione attraverso dei passa-preparati interbloccati. Una volta effettuate tutte le dovute operazioni di somministrazione, il materiale di risulta eventualmente contaminato sia del laboratorio di radiofarmacia, sia dell'area di somministrazione, viene raccolto in appositi contenitori schermati. In ultima analisi, il materiale di risulta contaminato viene trasportato all'interno del deposito temporaneo rifiuti radioattivi solidi, in attesa di decadimento, dal quale sarà poi rimosso mediante conferimento a ditta autorizzata allo smaltimento (o allontanato secondo le modalità previste dal d.lgs. 101/2020). In questi ambienti il rischio incendio può essere ritenuto di bassa criticità; pertanto, l'insorgenza di un eventuale principio d'incendio costituirebbe una situazione verosimilmente controllabile e gestibile; tuttavia, possono presentarsi rischi correlati al rischio incendio che riguardano direttamente il materiale radioattivo. Con rischi incendio-correlati si fa riferimento a tutti i principali rischi che, qualora scaturisse un incendio, possano generare ulteriori problematiche di pubblica sicurezza. Nel caso specifico di una MN, un incendio potrebbe coinvolgere le sorgenti contenute nei locali indicati con possibile risospensione del contenuto radioattivo.

SCENARIO INCENDIO IN UNA MEDICINA NUCLEARE

Nella definizione di uno scenario di incendio all'interno di una MN emerge la necessità di analizzare i fattori di rischio delle zone più critiche dell'UO, considerato che in questi locali sono manipolate e impiegate sorgenti tipicamente in forma non sigillata. Pertanto, sulla base degli incidenti prevedibili è necessario individuare le cause e analizzare i rischi, con particolare attenzione al locale ove avviene il frazionamento del radiofarmaco (radiofarmacia) e al locale deposito rifiuti radioattivi, per fare in modo che in caso di emergenza il rischio contaminazione sia molto limitato.

Per la complessità e la natura dell'UO, vi possono essere svariate cause di innesco che potrebbero comportare lo sviluppo di un incendio all'interno delle due aree critiche. Le sopradette cause possono avere origine interna oppure esterna al laboratorio e al deposito rifiuti radioattivi, ma comunque confinate all'interno della zona calda.

Le principali cause dell'innescio e della propagazione dell'incendio in relazione alla struttura e alla geometria dell'UO, esaminando le dotazioni dell'edificio dell'UO di MN, possono derivare da [Vigne, 2014]:

1. Quadri elettrici, ovvero linee elettriche di alimentazione dei quadri di zona dislocati all'interno dei comparti.
2. Cortocircuiti. La presenza di materiale elettrico di varia natura (quali corpi illuminanti o apparecchiature come computer, stampanti e altro) può dar luogo al manifestarsi di cortocircuiti e conseguente principio d'incendio.
3. Impianti di distribuzione del gas, in quanto possono essere presenti condutture di gas combustibile e/o gas medicali comburenti.
4. Gas in bombole. All'interno dei reparti e dei servizi, l'utilizzo di gas in bombole deve avvenire sulla base di esigenze certificate dal dirigente medico. Quest'ultimo deve provvedere alla compilazione di un apposito registro bombole. Il montaggio e lo smontaggio di riduttori devono essere affidati a personale formato e specializzato.
5. Suppellettili, materiale da cancelleria. Nei locali normalmente sono presenti attrezzature necessarie per lo svolgimento dell'attività lavorativa che rappresentano un potenziale pericolo per il manifestarsi di un incendio. Occorre valutare se vi sia inoltre la presenza di materiale (tipo cartaceo e/o plastico) che potrebbe contribuire ad alimentare e aggravare la situazione.
6. Prodotti chimici. All'interno dell'UO vi può essere l'utilizzo e/o deposito di materiale facilmente infiammabile, specie per l'uso giornaliero dell'UO.

Infine, va aggiunta e considerata un'altra tematica relativa al dolo/colpa. Non si possono escludere infatti atti vandalici e/o terroristici, che, specie in tali reparti, potrebbero avere conseguenze rilevanti.

Per poter arrivare alla determinazione del rischio globale occorre analizzare singolarmente ciascun possibile fattore d'incendio, valutandone la probabilità e il rischio connesso. Ogni fattore deve essere preso in esame in relazione alla capacità di propagarsi all'interno delle aree interessate (laboratorio, deposito dei rifiuti radioattivi e gli altri locali dell'area calda).

Nella presente analisi lo scenario incendio all'interno di una MN è analizzato tramite il seguente approccio:

1. Calcolo della curva d'incendio e valutazione della temperatura massima raggiungibile all'interno dei locali presi in esame, in ragione degli elementi effettivamente presenti, della loro infiammabilità e del loro potere calorifico.
2. Determinazione dei possibili scenari di rilascio sulla base della temperatura massima raggiungibile, delle caratteristiche dei locali, dell'ubicazione geografica della MN e delle misure antincendio applicabili.

Nei paragrafi successivi sono dettagliati gli aspetti tecnici dell'approccio proposto.

Calcolo della curva d'incendio

Per ogni locale dell'UO, in principio è possibile progettare curve di fuoco in grado di descrivere la variazione della temperatura nel tempo. Tali curve sono uno strumento utile per progettare la sicurezza antincendio nei locali potenzialmente coinvolti. In linea generale, le perdite di calore si verificano principalmente:

- su pareti e oggetti nella stanza;
- a causa del riscaldamento delle masse d'aria;
- a causa dell'irraggiamento e della convezione attraverso finestre e porte.

Negli ultimi anni sono state condotte numerose ricerche a livello internazionale per accertare i tipi di incendio che potrebbero verificarsi nell'ambiente in fase di progetto. A seguito dei dati ottenuti da questi test, sono state sviluppate una serie di curve tempo/temperatura utili per progettare la sicurezza antincendio negli edifici e nelle strutture [Inail, 2019; d.m. 03/08/2015]. Impiegando tali curve, per ogni ambiente è possibile progettare curve di fuoco che permettano di effettuare un'analisi della temperatura in funzione del tempo. Le quattro fasi dell'incendio (ignizione, *flashover*, incendio generalizzato e decadimento) contribuiscono a definire lo specifico comportamento della curva d'incendio, in base alla differente velocità di variazione della temperatura nel tempo. Importante ricordare che le valutazioni teoriche, per quanto accurate e dettagliate, saranno sempre peggiorative rispetto all'andamento di una curva naturale d'incendio.

Secondo la normativa europea UNI EN 1991-1-2 'Eurocodice 1-Azioni sulle strutture-Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco' [UNI EN 1991-1-2], sono previsti due approcci per la risoluzione dell'analisi termica, in riferimento alla determinazione dell'andamento della temperatura ambiente durante le quattro fasi: la curva nominale (approccio prescrittivo) e la curva naturale (approccio prestazionale). Il nuovo Codice di prevenzione incendi, presente nel d.m. 03/08/2015, si propone come promotore di un cambiamento metodologico nella prevenzione incendi, privilegiando proprio l'approccio prestazionale. Tale approccio è basato su tutto ciò che l'attività (struttura, impianti, gestione, ecc.) debba garantire, piuttosto che su come debba essere realizzata, definendo quindi esplicitamente gli obiettivi prestazionali, sulla base di esperte valutazioni in merito a *performance* finali che contemplano anche la scelta su mirati metodi di calcolo nonché la definizione degli aspetti costruttivi. Pertanto, secondo tale approccio, la valutazione del rischio non è fatta *ex ante* ma sul caso reale e concreto. Nel seguito è discusso l'impiego della curva naturale parametrica riportata nella norma UNI EN 1991-1-2 (Appendice A).

Curva naturale parametrica

La curva naturale è esemplificativa di uno scenario non standard, o incendio reale, modellato sulla base degli elementi effettivamente presenti nel contesto in esame, della loro infiammabilità e del loro potere calorifico. Il presente paragrafo è

dedicato alla valutazione della curva naturale d'incendio riportata nell'Appendice A della norma UNI EN 1991-1-2.

Il punto di partenza necessario al fine di valutare la curva di variazione nel tempo della temperatura dei gas di combustione durante lo sviluppo dell'incendio è il calcolo del carico di incendio specifico. Con il termine carico di incendio si intende, ai sensi delle definizioni di cui al punto 1.c del d.m. 09/03/2007, il potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti all'interno di un compartimento. Tale valore è inoltre corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli elementi. In relazione al quantitativo di materiale presente nel locale in esame il valore del carico d'incendio specifico q_f può essere determinato secondo la seguente relazione:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A}$$

Dove:

- g_i massa dell'i-esimo materiale combustibile [kg];
- H_i potere calorifico inferiore dell'i-esimo materiale combustibile; i valori di H_i dei materiali combustibili possono essere determinati per via sperimentale in accordo con UNI EN ISO 1716, dedotti dal prospetto E3 della norma UNI EN 1991-1-2, oppure essere mutuati dalla letteratura tecnica [MJ/kg];
- m_i fattore di partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile pari a 0,80 per il legno e altri materiali di natura cellulosica e 1,00 per tutti gli altri materiali combustibili;
- ψ_i fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale combustibile pari a: 0 per i materiali contenuti in contenitori appositamente progettati per resistere al fuoco per un tempo congruente con la classe di resistenza al fuoco e comunque classe minima almeno EI 15 (es. armadi resistenti al fuoco per liquidi infiammabili, ecc.); 0,85 per i materiali contenuti in contenitori non combustibili, che conservino la loro integrità durante l'esposizione all'incendio e non appositamente progettati per resistere al fuoco (es. fusti, contenitori o armadi metallici, ecc.); 1 in tutti gli altri casi (es. barattoli di vetro, bombolette spray, ecc.);
- A superficie lorda del piano del compartimento o, nel caso degli incendi localizzati, superficie lorda effettiva di distribuzione del carico di incendio [m²].

Noto il valore del carico d'incendio specifico q_f , può essere calcolato il valore del carico d'incendio specifico di progetto, $q_{f,d}$, determinato secondo la seguente relazione:

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f$$

dove:

- $q_{f,d}$ carico d'incendio specifico di progetto [MJ/m^2];
- δ_{q1} fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento e i cui valori sono definiti nella Tabella 3;
- δ_{q2} è il fattore che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento e i cui valori sono definiti nella Tabella 4;
- $\delta_n = \prod_i \delta_{n,i}$ è il fattore che tiene conto delle differenti misure antincendio del compartimento ed i cui valori sono definiti nella Tabella 5.

Tabella 3 Parametri per la definizione del fattore δ_{q1} (Tabella S.2-6 del Codice prevenzione incendi, d.m. 03/08/2015)			
Superficie lorda del compartimento [m^2]	δ_{q1}	Superficie lorda del compartimento [m^2]	δ_{q1}
333	1,00	$2.500 \leq A < 5.000$	1,60
$500 \leq A < 1.000$	1,20	$5.000 \leq A < 10.000$	1,80
$1.000 \leq A < 2.500$	1,40	$A \geq 10.000$	2,00

Tabella 4 Parametri per la definizione del fattore δ_{q2} (Tabella S.2-7 del Codice prevenzione incendi, d.m. 03/08/2015)		
Classi di rischio	Descrizione	δ_{q2}
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	0,80
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	1,00
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,20

Tabella 5		Parametri per la definizione del fattore δ_{ni} (Tabella S.2-8 del Codice prevenzione incendi, d.m. del 03/08/2015)	
Misura antincendio minima		$\delta_{n,i}$	
Controllo dell'incendio di livello di prestazione III	Rete idranti con protezione interna	δ_{n1}	0,90
	Rete idranti con protezione interna ed esterna	δ_{n2}	0,80
Controllo dell'incendio di livello di prestazione IV	Sistema automatico ad acqua o schiuma e rete idranti con protezione interna	δ_{n3}	0,54
	Altro sistema automatico e rete idranti con protezione interna	δ_{n4}	0,72
	Sistema automatico ad acqua o schiuma e rete idranti con protezione interna ed esterna	δ_{n5}	0,48
	Altro sistema automatico e rete idranti con protezione interna ed esterna	δ_{n6}	0,64
Gestione della sicurezza antincendio di livello di prestazione II*		δ_{n7}	0,90
Controllo di fumi e calore di livello di prestazione III		δ_{n8}	0,90
Rivelazione ed allarme di livello di prestazione III		δ_{n9}	0,85
Operatività antincendio di livello di prestazione IV		δ_{n10}	0,81

*Gli addetti antincendio devono garantire la presenza continuativa durante le 24 ore.

L'equazione della curva parametrica della variazione della temperatura θ_g dei gas caldi nel tempo fornita dalla norma UNI EN 1991-1-2 è valida per ambienti con superficie in pianta inferiori a 500 m², senza aperture nel soffitto ed aventi altezza massima di 4 m e nei quali il materiale combustibile possa assimilarsi alla carta o al legno; La curva è descritta dall'espressione:

$$\theta_g(t) = 20 + 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7t^*} - 0,472 \cdot e^{-19t^*})$$

dove:

■ $t^* = t \cdot \Gamma$

■ t

■ $\Gamma = (b_{rif}/O_{rif})^2 \times (0/b)^2$

■ $0 = \sqrt{h_{eq}} \cdot \frac{A_v}{A_t}$

È un tempo fittizio, espresso in [h].

Tempo, espresso in [h].

Fattore adimensionale. Nell'Appendice A della norma UNI EN 1991-1-2 sono indicati:

$b_{rif} = 0,04 \text{ m}^{0,5}$;

$O_{rif} = 1160 \text{ J}/(\text{m}^2 \text{ s}^{0,5} \text{ } ^\circ\text{C})$.

Fattore di apertura o ventilazione, espresso in [m^{0,5}], con il seguente limite: $0,02 \leq 0 \leq 0,20$.

- A_v Area, espressa in $[m^2]$, delle aperture verticali di ventilazione.
- A_t Area totale (pareti, soffitto e pavimento) del compartimento comprese le aperture, espressa in $[m^2]$.
- $h_{eq} = \sum_i A_{v,i} \cdot h_i / A_v$ Altezza ponderata delle aperture verticali di ventilazione, espressa in $[m]$, con $A_{v,i}$ e h_i area e altezza della singola apertura espresse in $[m]$.
- $b = \sqrt{\rho \cdot c_p \cdot \lambda}$ Inerzia termica delle pareti che delimitano il compartimento, espressa in $[J/(m^2 s^{0,5} ^\circ C)]$, con il seguente limite: $100 \leq b \leq 2200$.
- ρ Densità delle pareti che delimitano il compartimento $[kg/m^3]$.
- c_p Calore specifico delle pareti che delimitano il compartimento in $[J/kg K]$.
- λ Conducibilità termica del compartimento $\left[\frac{W}{mK}\right]$.

La massima temperatura raggiungibile durante l'incendio è un parametro rilevante in uno scenario incendio all'interno di una MN in cui è di fondamentale importanza determinare se le temperature raggiunte siano in grado di minare la tenuta delle sorgenti non sigillate. La massima temperatura raggiungibile, θ_{max} , si ha quando $t^* = t_{max}^* = t_{max} \cdot \Gamma$ ed è calcolabile attraverso la seguente relazione:

$$t_{max} = \max \left[0,0002 \cdot \frac{q_{t,d}}{0}; t_{lim} \right]$$

dove:

- t_{lim} dipende dalla velocità di crescita dell'incendio (tabella 6), che a sua volta può essere: bassa, $t_{lim} = 25$ minuti; media, $t_{lim} = 20$ minuti; rapida, $t_{lim} = 15$ minuti;
- $q_{t,d}$ rappresenta il valore di progetto del carico d'incendio specifico relativo all'area totale A_t del compartimento, definito come: $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$, espresso in MJ/m^2 e con A_f = massima area dell'incendio $[m^2]$ cioè l'area del locale dell'incendio in caso di carico di incendio uniformemente distribuito (ma potrebbe essere inferiore in caso di incendio localizzato). La norma raccomanda che siano rispettati i seguenti limiti: $50 \leq q_{t,d} \leq 1.000$, in MJ/m^2 .

Tabella 6 Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio (Tabella G.3.2 del Codice di prevenzione incendi, d.m. 03/08/2015)	
t_{α}[*]	Criteri
600 s (lenta)	Ambiti di attività con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$, oppure ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo trascurabile all'incendio.
300 s (media)	Ambiti di attività ove siano presenti prevalentemente materiali o altri combustibili che contribuiscono in modo moderato all'incendio.
150 s (rapida)	Ambiti con presenza di significative quantità di materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettriche e elettroniche, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco. Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili, con $3,0 \text{ m} < h \leq 5,0 \text{ m}$ [**]. Stoccaggi classificati HHS3 oppure attività classificate HHP1, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti con impianti tecnologici o di processo che impiegano significative quantità di materiali combustibili. Ambiti con contemporanea presenza di materiali combustibili e lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio.
75 s (ultrarapida)	Ambiti ove avvenga impilamento verticale di significative quantità di materiali combustibili con $h > 5,0 \text{ m}$ [**]. Stoccaggi classificati HHS4 oppure attività classificate HHP2, HHP3 o HHP4, secondo la norma UNI EN 12845. Ambiti ove siano presenti o in lavorazione significative quantità di sostanze o miscele pericolose ai fini dell'incendio, oppure materiali plastici cellulari/espansi o schiume combustibili non classificati per la reazione al fuoco.
A meno di valutazioni più approfondite da parte del progettista (es. dati di letteratura, misure dirette, ...), si ritengono non significative ai fini della presente classificazione almeno le quantità di materiali nei compartimenti con carico di incendio specifico $q_f \leq 200 \text{ MJ/m}^2$.	

[*] Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio.

[**] Con h altezza d'impilamento.

Nella fase di decadimento dell'incendio, la diminuzione della temperatura nel tempo all'interno del compartimento risulta influenzata fortemente dalla tipologia, forma ed orientamento spaziale del combustibile, dalla durata della fase di crescita e di pieno sviluppo dell'incendio, dalla superficie delle aperture di ventilazione presenti e dalle caratteristiche delle pareti di delimitazione del locale.
Nell'Appendice A della norma UNI EN 1991-1-2 la velocità di diminuzione della temperatura nel tempo $(d\theta/dt)_{\text{rif}}$ viene stabilita in funzione del valore di t_{max}^* (Tabella 7).

Tabella 7 Valore di $t_{\max}^*$ in ragione del quale viene stabilita la diminuzione della temperatura nel tempo $(d\theta/dt)_{\text{rif}}$		
$t_{\max}^*$	$(d\theta/dt)_{\text{rif}}$	θ_g
$t_{\max}^* < 0,5 \text{ h}$	625 (°C/h)	$\theta_g = \theta_{\max} - 625 \cdot (t^* - t_{\max}^*)$
$t_{\max}^* > 2 \text{ h}$	250 (°C/h)	$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \cdot (t^* - t_{\max}^*)$
$0,5 \text{ h} < t_{\max}^* < 2 \text{ h}$	$750 \text{ (°C/h)} - 250 \text{ (°C/h}^2) \cdot t$	$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \cdot (3 - t_{\max}^*) \cdot (t^* - t_{\max}^*)$

In considerazione della formulazione dei vari parametri contemplati nell'Appendice A della norma UNI EN 1991-1-2, è possibile evincere che il tempo $t_{\max}$ occorrente per raggiungere la temperatura massima nel compartimento aumenta al crescere di $q_{t,d}$ e con la riduzione della superficie di ventilazione. Il valore $\theta_{\max}$, invece, aumenta con la riduzione dell'inerzia termica delle pareti delimitanti il compartimento.

VALUTAZIONE DEI POTENZIALI RILASCI IN CASO DI INCENDIO

Secondo le disposizioni dell'art. 174 del d.lgs. 101/2020 i soggetti richiedenti l'emanazione di provvedimenti autorizzativi, provvedono a eseguire, avvalendosi anche dell'ERP, le valutazioni preventive della distribuzione spaziale e temporale delle materie radioattive disperse o rilasciate, nonché delle esposizioni potenziali relative ai lavoratori e all'individuo rappresentativo della popolazione nei possibili casi di emergenza radiologica.

A seguito di un incendio sviluppatosi all'interno del laboratorio di radiofarmacia è ipotizzabile che parte dei fumi potenzialmente radioattivi possano essere rilasciati in ambiente tramite condotte di areazione o finestre presenti all'interno del laboratorio caldo stesso. Una volta in aria libera i fumi sarebbero quindi liberi di diffondere, a seconda delle condizioni atmosferiche, meteorologiche e del contesto ambientale, nelle zone limitrofe e raggiungere quindi eventuali abitazioni civili.

Per effettuare le stime di rilascio possono essere utilizzati modelli numerici o analitici in grado di fornire una risposta rapida per caratterizzare la dispersione dei radionuclidi e per stimare l'esposizione della popolazione. La maggior parte dei codici di calcolo di pronto impiego disponibili in commercio o reperibili nella letteratura di riferimento simula la diffusione del contaminante attraverso un modello di propagazione gaussiana.

Uno strumento di valutazione ampiamente validato per studi di diffusione ambientale di contaminanti radioattivi è il codice di calcolo HotSpot 3.0.2 [<https://narac.llnl.gov/hotspot>]. Si tratta di un modello computazionale sviluppato dal *Lawrence Livermore National Laboratory* per valutare la dispersione e il trasporto

di sostanze radioattive rilasciate nell'atmosfera in seguito a incidenti o emergenze radiologiche in approssimazione di diffusione gaussiana. Il modello si basa su algoritmi e modelli matematici che prendono in considerazione il rilascio iniziale di materiale radioattivo, la sua dispersione atmosferica in funzione di parametri meteorologici, la deposizione a terra e la dose all'individuo rappresentativo della popolazione. L'accuratezza delle previsioni dipende in modo significativo dalla qualità e dalla precisione dei dati di input forniti al modello, inclusi i dati sulla sorgente del rilascio, le condizioni meteorologiche locali e altre variabili ambientali. Lo scenario incendio è contemplato in un modulo dedicato (*general fire*). Per una dettagliata descrizione del codice e delle possibili applicazioni allo scenario incendio si rimanda al manuale del codice di calcolo e alla letteratura di riferimento.

Nel seguito si farà riferimento alla procedura di calcolo analitico tratta dal documento laea-TECDOC-1162 [laea, 2000], basata su previsioni di ricadute del contaminante secondo un modello gaussiano semplificato, in ipotesi di uno scenario incendio. Nel modello non vengono considerati filtri, depositi su superfici, o altri processi che possano ridurre la ricaduta del contaminante. Pertanto, l'approccio laea fornisce verosimilmente un limite superiore ragionevole nella maggior parte degli scenari. La semplicità di implementazione del modello, unitamente alle informazioni sui parametri di input fornite dalla pubblicazione in forma tabellare, rende l'approccio laea facilmente applicabile e di immediato utilizzo in uno scenario incendio.

Come regola generale, particolare attenzione deve essere sempre prestata all'affidabilità e alla sensibilità dei modelli gaussiani deterministici, soprattutto in caso di scenari di rilascio complessi, condizioni orografiche particolari o in presenza di edifici o altre strutture attorno al punto di rilascio in grado alterare in modo sostanziale la propagazione gaussiana del contaminante.

Esposizioni potenziali della popolazione (modello analitico di rilascio)

Come anticipato, nel caso di rilascio di radionuclidi da parte di una MN che si trovi a livello del terreno (*ground level*) le valutazioni di concentrazione del radionuclide a una determinata distanza dal punto di rilascio possono essere eseguite impiegando i modelli previsionali di rilascio in atmosfera proposti nella pubblicazione laea-TECDOC-1162 [laea, 2000]. A partire dal dato di concentrazione in aria è possibile stimare la dose efficace all'individuo rappresentativo (es: popolazione che vive attorno al punto di rilascio) applicando opportuni coefficienti di conversione per inalazione e immersione. La pubblicazione laea fornisce la seguente relazione per la valutazione della concentrazione C_i [kBq/m³] a livello del terreno (altezza di rilascio 0 m) in caso di incendio [laea, 2000]:

$$C_i = \frac{Q_i \cdot DF_m}{u}$$

con Q_i rateo di rilascio del materiale radioattivo i [kBq/s], DF_m fattore di diluizione [m^{-2}] dipendente dalla classe di stabilità atmosferica e dalla distanza dal punto di rilascio (Figura 4). Il parametro u rappresenta la velocità media del vento [m/s]. Per ciascun radionuclide i rilasciato, il rateo di emissione può essere determinato secondo la seguente relazione [laea, 2000]:

$$Q_i = \frac{A_i \cdot FRF_i}{T}$$

con A_i attività del materiale radioattivo i disponibile durante l'incendio [kBq], FRF_i (*fire release fraction*) frazione del radionuclide i rilasciato durante l'incendio e T durata del rilascio [s].

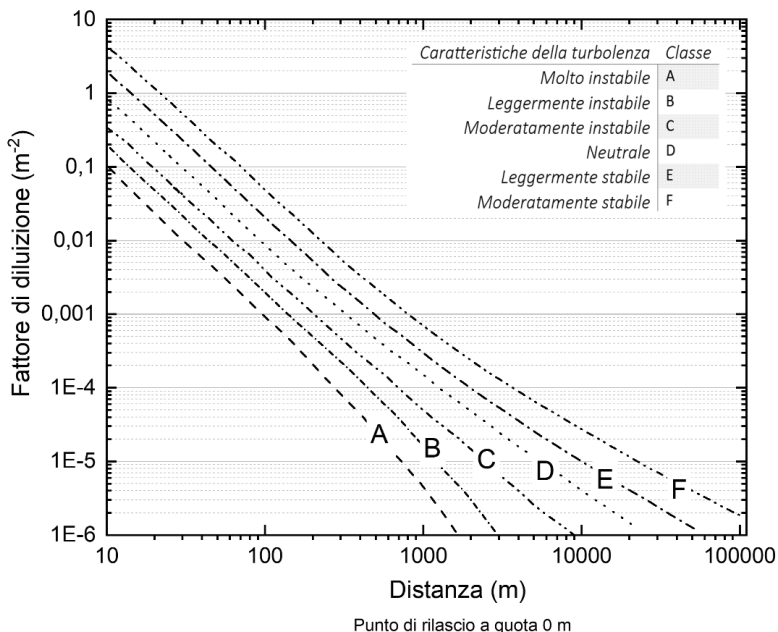
La grandezza FRF_i è tabulata per diversi radionuclidi nella Tabella E11 del documento laea e nella Tabella E12 dello stesso documento in funzione dello stato fisico (riprodotta in tabella 8), ed è definita come segue:

$$FRF = \frac{A_R \text{ [kBq]}}{A_T \text{ [kBq]}}$$

Con A_R attività rilasciata e A_T attività totalmente coinvolta nell'incendio.

Si osserva, come d'altra parte evidenziato nella stessa pubblicazione laea, che i fattori di diluizione DF_m per distanze inferiori a 500 m dal punto di rilascio possono essere affetti da incertezze importanti poiché a tali distanze possono dominare gli effetti di 'building wake'. Tale effetto si verifica quando la presenza di edifici o altre strutture modifica il flusso del vento intorno a essi, creando turbolenze o vortici d'aria che alterano la diluizione del pennacchio. Per distanze inferiori a 500 m dal punto di rilascio la pubblicazione laea suggerisce di impiegare i fattori di diluizione riprodotti in Figura 4 (Figura E1 della pubblicazione), evidenziando comunque la possibile inaccuratezza degli stessi.

Figura 4 Fattori di diluizione, DF_m , in funzione della distanza e delle condizioni di stabilità atmosferica



(laea, 2000)

Tabella 8 Fattore FRF tabulato per diversi radionuclidi*

Forma del composto	FRF
Gas nobili	1
Forme ad elevata mobilità (es: particolato attaccato a materiale di combustione)	1
Composti volatili e combustibili	0,5
Carbone	0,01
Composti semivolatili	0,01
Polveri non volatili	0,001
Uranio e plutonio metallici	0,001
Forme non volatili in liquidi infiammabili	0,005
Forme non volatili in liquidi non infiammabili	0,001
Solidi non volatili	0,0001

* Adattata da laea, 2000

La dose efficace totale all'individuo rappresentativo è data dalla somma di due contributi di esposizione: i) dose per inalazione del contaminante ii) dose per immersione. La dose per inalazione, D_{inal} , può essere valutata tramite la seguente relazione:

$$D_{\text{inal}} = \sum_i C_i \cdot BR \cdot E_{\text{inal},i} \cdot T_e$$

dove C_i [Bq/m^3] è la concentrazione del radionuclide in aria, BR rappresenta il rateo di respirazione dell'individuo espresso in [m^3/h], $E_{\text{inal},i}$ [Sv Bq^{-1}] il fattore di conversione di dose e T_e [h] il tempo di esposizione dell'individuo. Il valore del rateo di respirazione, BR , può variare da circa $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ in situazioni di riposo a $3 \text{ m}^3/\text{h}$ in situazioni di lavoro pesante. Il valore medio per attività lavorativa moderata è pari a $1,2 - 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Il fattore di conversione $E_{\text{inal},i}$ espresso in [Sv Bq^{-1}] è reperibile in [Icrp, 2012].

La pubblicazione laea, raccomandando un valore del rateo di respirazione pari a $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, fornisce i fattori di conversione per diversi radionuclidi già espressi in unità di concentrazione del radionuclide in aria, $e_{\text{inal},i} = BR \cdot E_{\text{inal},i}$ e quindi espressi in unità [$\text{Sv h}^{-1} \text{ kBq}^{-1} \text{ m}^3$]. Tali valori sono riportati nella Tabella E6 della pubblicazione. In tale ipotesi, la dose per inalazione è calcolabile direttamente attraverso la relazione:

$$D_{\text{inal}} = \sum_i C_i \cdot e_{\text{inal},i} \cdot T_e$$

Similmente, la dose per immersione nella nube radioattiva può essere calcolata attraverso la seguente relazione:

$$D_{\text{imm}} = \sum_i C_i \cdot e_{\text{imm},i} \cdot T_e$$

Dove, per analogia, il coefficiente di dose $e_{\text{imm},i}$ è espresso in rateo di dose efficace per unità di concentrazione [$\text{Sv h}^{-1} \text{ Bq}^{-1} \text{ m}^3$]. I valori di $e_{\text{imm},i}$ per diversi radionuclidi sono reperibili nella letteratura di riferimento [Icrp, 2020]. In ultima analisi, la dose efficace (D_{eff}) totale all'individuo rappresentativo è calcolabile sommando i contributi di inalazione e immersione:

$$D_{\text{eff}} = D_{\text{inal}} + D_{\text{imm}}$$

Esposizioni potenziali degli operatori di primo intervento

In tutte le aziende deve essere presente una squadra di emergenza composta da addetti antincendio (squadra emergenza antincendio) ed addetti al primo soccorso

(squadra emergenza primo soccorso). Tali lavoratori sono incaricati di mettere in atto tutte le misure di sicurezza necessarie a gestire le situazioni di emergenza e intervengono prontamente in caso di principio di incendio, terremoto, alluvione o catastrofi naturali come supporto ai lavoratori e rimanendo a disposizione per informare e supportare i soccorritori esterni (ad esempio, Vigili del fuoco e 118). Le squadre di emergenza sono espressamente previste dal d.lgs. 81/2008. All'articolo 18, il decreto stabilisce che il datore di lavoro e i dirigenti che lo coadiuvano hanno l'obbligo di 'designare preventivamente i lavoratori incaricati dell'attuazione delle misure di prevenzione degli incendi e lotta antincendio, di evacuazione dei luoghi di lavoro in caso di pericolo grave e immediato, di salvataggio, di primo soccorso e, comunque, di gestione dell'emergenza'. In particolare l'addetto antincendio è il lavoratore incaricato di attuare le misure di prevenzione incendi nei luoghi di lavoro durante la normale fase delle attività. Gli addetti hanno, inoltre, il compito di attuare il piano di evacuazione ed emergenza durante la fase emergenziale.

L'addetto al primo soccorso è il lavoratore designato a compiere un insieme di azioni e interventi che hanno il fine di preservare la vita dell'infortunato in attesa dell'arrivo di personale più qualificato. Sia gli addetti alla squadra di emergenza antincendio sia i lavoratori addetti al primo soccorso devono ricevere una specifica formazione.

In caso di intervento di un operatore di dette squadre (o di un altro individuo che intervenga in caso di emergenza) è ipotizzabile un rischio radiologico per esposizione interna (inalazione di fumi contenenti radionuclidi) ed esposizione esterna (esposizione per immersione nella nube contenente radionuclidi rilasciati in ambiente). La dose totale al lavoratore è la somma dei due contributi.

La dose efficace dovuta al contributo di più radionuclidi può essere calcolata in prima approssimazione come la somma delle dosi attribuibili ai singoli radionuclidi. Per quanto riguarda l'inalazione di fumi o aria potenzialmente contaminati, la concentrazione di attività T_i all'interno del locale di intervento imputabile al radionuclide i può essere calcolata come segue:

$$T_i = (A_i \cdot FRF_i)/V$$

dove:

- T = concentrazione di attività in aria [$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$];
- FRF = frazione del radionuclide i rilasciato durante l'incendio (in Tabella 10 sono riportati i valori suggeriti in [laea, 2000];
- A = attività coinvolta nell'incendio [Bq];
- V = volume del locale interessato.

In presenza di un locale dotato di un numero di ricambi d'aria R [s^{-1}], la concentrazione di attività $C(t)_i$ [Bq/m^3] all'interno del locale quando la ventilazione è accesa può essere calcolata come segue:

$$C(t)_i = T_i \cdot \exp [-(\lambda_i + R)t]$$

dove:

- λ = costante di decadimento del radionuclide rilasciato [s^{-1}];
- $R = v_R / V$ numero di cambi d'aria per unità di tempo [s^{-1}], con v_R tasso di flusso dell'aria [m^3/s] e V volume del locale [m^3].

Impiegando il formalismo già incontrato, la dose da inalazione di aria contaminata per il radionuclide i è in ultima analisi data da:

$$D_{inal} = \sum_i C(t)_i \cdot BR \cdot E_{inal,i} \cdot T_e = \sum_i C(t)_i \cdot e_{inal,i} \cdot T_e$$

dove:

- D_{inal} = dose efficace impegnata dovuta al radionuclide i [Sv];
- $E_{inal,i}$ = coefficiente di dose da inalazione per il radionuclide i [$Sv \ Bq^{-1}$];
- BR = volume d'aria inalato dal lavoratore nell'unità di tempo [m^3/h];
- $e_{inal,i} = E_{inal,i} \cdot BR$, coefficiente di dose per unità di concentrazione [$Sv \ h^{-1} \ Bq^{-1}m^3$];
- T_e = tempo di esposizione [h];
- $C(t)_i$ = concentrazione in aria del radionuclide i calcolata all'istante t [Bq/m^3].

Per analogia a quanto visto in precedenza, per quanto riguarda l'esposizione esterna dovuta a immersione in aria contaminata, utilizzando il fattore di conversione $e_{imm,i}$ [$Sv \ h^{-1} \ Bq^{-1}m^3$] è possibile valutare la dose efficace da irradiazione diretta da una nube contaminata uniformemente:

$$D_{imm} = \sum_i C(t)_i \cdot e_{imm,i} \cdot T_e$$

dove:

- D_{imm} = dose efficace per immersione relativa al radionuclide i [Sv];
- $e_{imm,i}$ = coefficiente di dose per immersione per il radionuclide i [$Sv \ h^{-1} \ Bq^{-1}m^3$];
- T_e = tempo di esposizione [h];
- $C(t)_i$ = concentrazione in aria del radionuclide i calcolata all'istante t [Bq/m^3].

La dose totale ricevuta sarà data dalla somma di tutti i contributi da considerare nel caso specifico.

CASO STUDIO

Come anticipato, la principale caratteristica di un incendio è l'innalzamento della temperatura prodotta dalla combustione del carico di incendio presente nell'ambiente.

Il laboratorio di radiofarmacia e il locale deposito rifiuti radioattivi rappresentano, nella maggior parte dei casi, le zone più suscettibili al rischio incendio. Infatti all'interno del laboratorio è presente la maggiore quantità di materiale radioattivo, mentre il locale deposito rifiuti radioattivi (nonostante le modeste quantità di materiale radioattivo in esso generalmente presenti) può avere un carico di incendio non sempre trascurabile imputabile al materiale di risulta in esso detenuto (siringhe, aghi, cotone, flaconi di preparazione dosi, lenzuolini monouso, guanti, carta assorbente, contenitori vuoti o parzialmente utilizzati, contaminati da sostanze radioattive).

Il presente caso di studio è pertanto dedicato alla valutazione delle temperature massime raggiungibili nei locali sopra menzionati al fine di poter determinare le possibili conseguenze di un incendio in termini di rilascio e diffusione in ambiente dei radionuclidi eventualmente coinvolti nell'incendio stesso.

Il laboratorio di radiofarmacia rappresenta il locale dedicato alla manipolazione e alla preparazione dei radiofarmaci e spesso impiegato anche come deposito delle sorgenti madre (se attrezzature e spazi lo consentono). A tale locale si accede tramite locale filtro. Il laboratorio rappresenta spesso il punto di arrivo del radiofarmaco ed è il locale all'interno della MN con la maggiore concentrazione di radionuclidi.

Il locale rifiuti radioattivi è dedicato al deposito temporaneo per lo stoccaggio e il decadimento dei rifiuti radioattivi solidi ed è costituito da uno o più locali in cui vengono suddivisi i rifiuti normalmente in funzione del tempo di dimezzamento del radionuclide. Nel deposito temporaneo sono generalmente detenuti i rifiuti radioattivi solidi prodotti nell'UO, costituiti da tutti quegli oggetti o presidi medico-chirurgici che hanno subito una contaminazione. I contenitori per rifiuti radioattivi solidi sono in genere fusti in acciaio dalla capacità di circa 60 litri, al cui interno è posto un sacco di polietilene che, una volta riempito, deve essere chiuso mediante fascetta in PVC. Il fusto è poi sigillato con un coperchio con chiusura a cravatta.

Come anticipato, si è interessati in questa sede alla valutazione della massima temperatura raggiungibile nei locali sopra menzionati. Di seguito si riportano degli stralci di un'analisi effettuata in un'UO esistente di MN. La presente trattazione, che non può essere naturalmente esaustiva, ha come obiettivo l'analisi della metodologia di calcolo presentata nel paragrafo 'Curva naturale parametrica'. La valutazione è stata effettuata utilizzando il codice di calcolo FIN EC 2024²

² In letteratura è riportato l'impiego di diversi software e codici di calcolo. Nella presente trattazione non si intende favorire l'adozione di un codice rispetto ad altri.

[<https://www.finesoftware.it>] e impiegando il modulo *Curva Parametrica Temperatura*. Nella simulazione si è assunto cautelativamente un carico d'incendio specifico di progetto pari a 300 MJ/m^2 per il laboratorio di radiofarmacia ($3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$) e pari a 350 MJ/m^2 ($3 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$) per il deposito temporaneo di rifiuti radioattivi. Per semplicità, ma ancora con approccio cautelativo, si è posto per entrambi i locali $\delta_{q1} = \delta_{q2} = \delta_n = 1$.

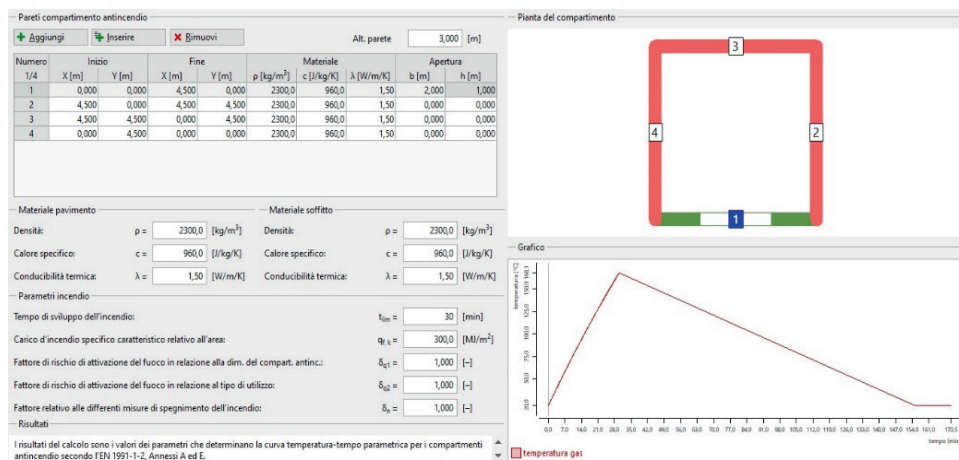
Le Figure 5 e 6 mostrano i risultati delle simulazioni per un tempo di sviluppo dell'incendio pari a 30 minuti. Nelle stesse figure e in Tabella 9 sono anche riportati i parametri impiegati nella simulazione. La Tabella 10 riporta le temperature massime raggiungibili per tempi di sviluppo dell'incendio pari a 15, 30 e 60 minuti. In linea generale, dall'analisi delle aree di interesse si riscontra il raggiungimento di modeste temperature massime, non superiori a circa 455°C nel laboratorio e 380°C nel deposito temporaneo dei rifiuti.

Tali temperature, anche in considerazione della breve durata dell'incendio, sono tali da non pregiudicare la tenuta delle strutture e dei sistemi di contenimento in piombo dei radionuclidi. È possibile aggiungere che, considerata la presenza di adeguati ed efficienti sistemi automatici antincendio è poco plausibile lo sviluppo di un incendio sino al raggiungimento delle massime temperature sopra menzionate in quanto la durata dell'incendio sarebbe verosimilmente inferiore al tempo di sviluppo dell'incendio. In via cautelativa, tuttavia, si ipotizza che le massime temperature raggiungibili siano in grado di fondere il materiale plastico (es: siringhe per somministrazione). I polimeri plastici fondono infatti a temperature comprese tra i 190 e 310°C . Cautelativamente si assume quindi che lo sviluppo di un incendio possa determinare la fusione di una siringa per somministrazione precedentemente caricata con il radiofarmaco, non detenuta all'interno delle celle di manipolazione e quindi direttamente esposta all'incendio. Si assume inoltre che il materiale radioattivo (o una frazione di esso) possa essere disperso in ambiente e rilasciato verso l'esterno.

Tale assunzione è da ritenersi anch'essa cautelativa in quanto i filtri a carbone attivo eventualmente presenti all'interno del locale non sarebbero verosimilmente interessati dal modesto innalzamento delle temperature e il sistema di filtraggio dell'aria impiegato manterrebbe con tutta probabilità inalterate le proprie caratteristiche costruttive. Di conseguenza, è verosimile una fuoriuscita di sostanze radioattive nell'ambiente esterno solo in presenza di finestre (eventualmente aperte) o altri condotti di comunicazione tra il locale interessato dall'incendio e l'ambiente esterno.

Figura 5

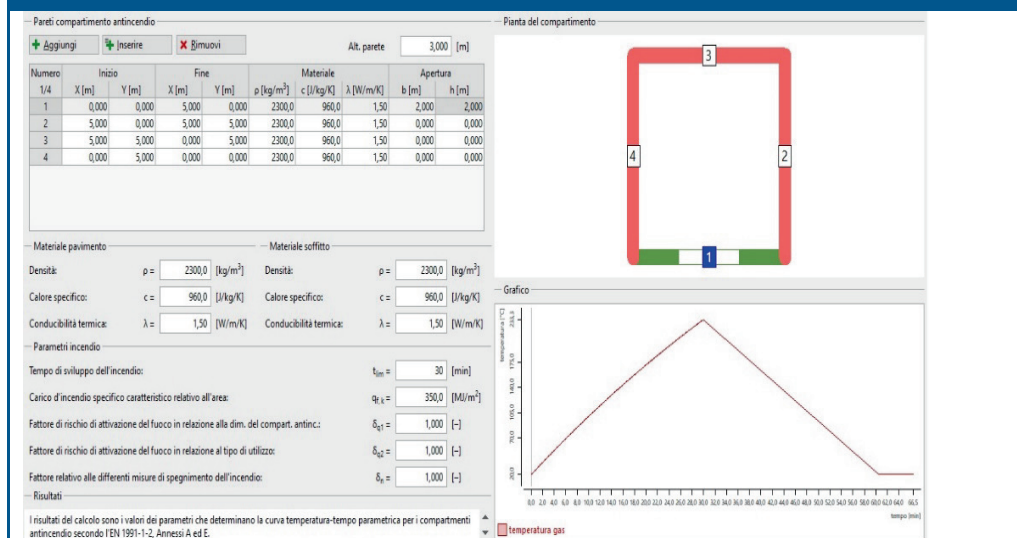
**Esempio di calcolo della curva di temperatura
per il laboratorio di radiofarmacia.
Tempo di sviluppo dell'incendio pari a 30 minuti**



(Schermata software FIN EC 2024)

Figura 6

**Esempio di calcolo della curva di temperatura per il deposito
rifiuti. Tempo di sviluppo dell'incendio pari a 30 minuti**



(Schermata software FIN EC 2024)

Tabella 9 Parametri implementati nella curva di fuoco naturale, per il laboratorio di radiofarmacia e deposito temporaneo		
Materiale	Laboratorio	Deposito temporaneo
Dimensioni locale	3 m x 4,5 m x 4,5 m	3 m x 5 m x 5 m
ρ (densità)	2300 kg/m ³	2300 kg/m ³
c (calore specifico)	960 J/kg K	960 J/kg K
λ (conducibilità termica)	1,5 W/mK	1,5 W/mK
Apertura	2 m x 1 m	2 m x 2 m
h (altezza locale)	3 m	3 m
$q_{f,k}$	300 MJ/m ²	350 MJ/m ²
$\delta_{q1} = \delta_{q2} = \delta_n$	1	1

Tabella 10 Temperature massime raggiungibili in base ai tempi di sviluppo dell'incendio		
Tempo sviluppo incendio	Laboratorio	Deposito temporaneo
T = 15 min	455 °C	380 °C
T = 30 min	168 °C	235 °C
T = 60 min	100 °C	137 °C

Si prende quindi in esame uno scenario che contempli la fusione di una siringa contenente il radiofarmaco in forma non sigillata e il conseguente rilascio in ambiente del contenuto. L'esposizione della popolazione può essere valutata secondo il modello laea presentato nel paragrafo *Esposizioni potenziali della popolazione (modello analitico di rilascio)*.

Il caso studio si riferisce a uno scenario incidentale che coinvolga il laboratorio di radiofarmacia, in quanto è all'interno di essa che si assume siano detenute le sorgenti impiegate clinicamente. L'individuo rappresentativo è considerato essere un individuo della popolazione che vive a una distanza pari a 500 m dal luogo dell'incendio.

L'analisi è stata eseguita per diversi radionuclidi, sia di impiego diagnostico, sia terapeutico, considerando le massime attività impiegate clinicamente per ciascun radionuclide e assumendo, ancora con approccio cautelativo, la classe di stabilità atmosferica F (atmosfera stabile, che corrisponde a una minore dispersione dei radionuclidi in atmosfera, come evidente in Figura 4). La lista dei radionuclidi considerati è riportata in Tabella 11. Si è assunto che il rilascio di tutto il materiale

radioattivo avvenga in un tempo $T = 300$ s, quindi molto più breve della durata complessiva dell'incendio (Tabella 10). Tale assunzione risulta essere ancora una volta cautelativa in quanto, nel modello laea, la durata del rilascio compare al denominatore e un ridotto tempo di rilascio si traduce in un maggiore rateo di emissione, Q_i [kBq/s].

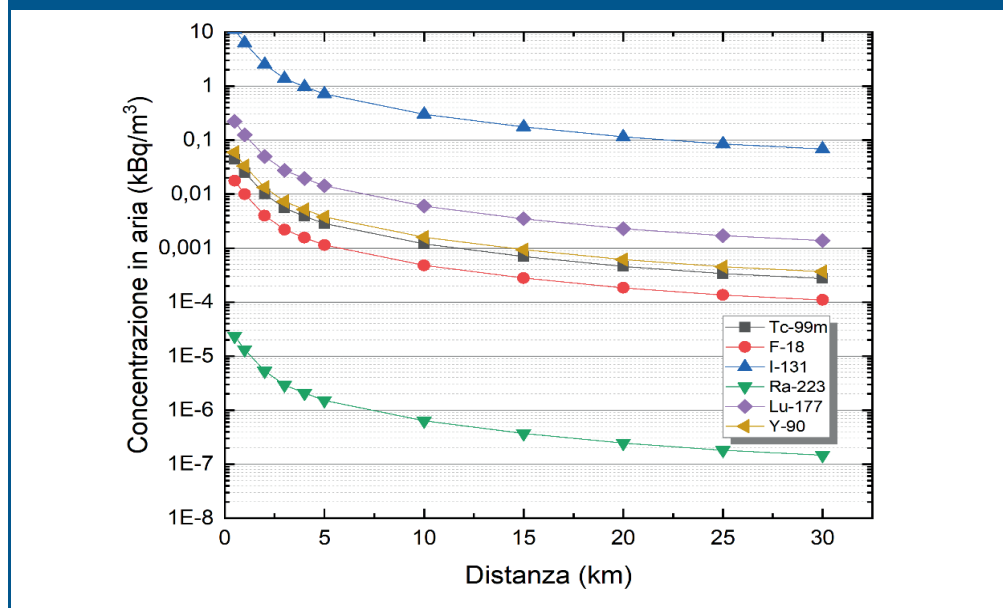
Lo scenario emergenziale considerato nel suo insieme risulta comunque altamente cautelativo in quanto durante il normale svolgimento delle attività le siringhe contenenti il radiofarmaco si trovano sempre all'interno della cella di manipolazione o, una volta estratte da essa, all'interno di contenitori schermati in piombo. Peraltro, è verosimile che in nessuno dei due casi le temperature raggiunte durante l'incendio siano in grado di compromettere la tenuta del sistema di contenimento.

Tabella 11 **Dati di input del modello laea. Durata del rilascio sia pari a $T = 300$ s, velocità del vento a $u = 1$ m/s, rateo di respirazione medio pari a $1,5$ m³/h**

Radionuclide	Attività	Impiego	FRF	$e_{inal} \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right) / \left(\frac{\text{kBq}}{\text{m}^3} \right)$	$e_{imm} \left(\frac{\text{mSv}}{\text{h}} \right) / \left(\frac{\text{kBq}}{\text{m}^3} \right)$
^{99m} Tc	$1,5 \cdot 10^6$ kBq	Diagnostica	0,01	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
¹⁸ F	$6,0 \cdot 10^5$ kBq	Diagnostica	0,01	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
¹⁷⁷ Lu	$7,5 \cdot 10^6$ kBq	Terapia	0,01	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$5,8 \cdot 10^{-6}$
¹³¹ I	$7,5 \cdot 10^6$ kBq	Terapia	0,50	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$8,1 \cdot 10^{-5}$
²²³ Ra	$8,0 \cdot 10^3$ kBq	Terapia	0,01	$1,0 \cdot 10^1$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
⁹⁰ Y	$2,0 \cdot 10^6$ kBq	Terapia	0,01	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$

Figura 7

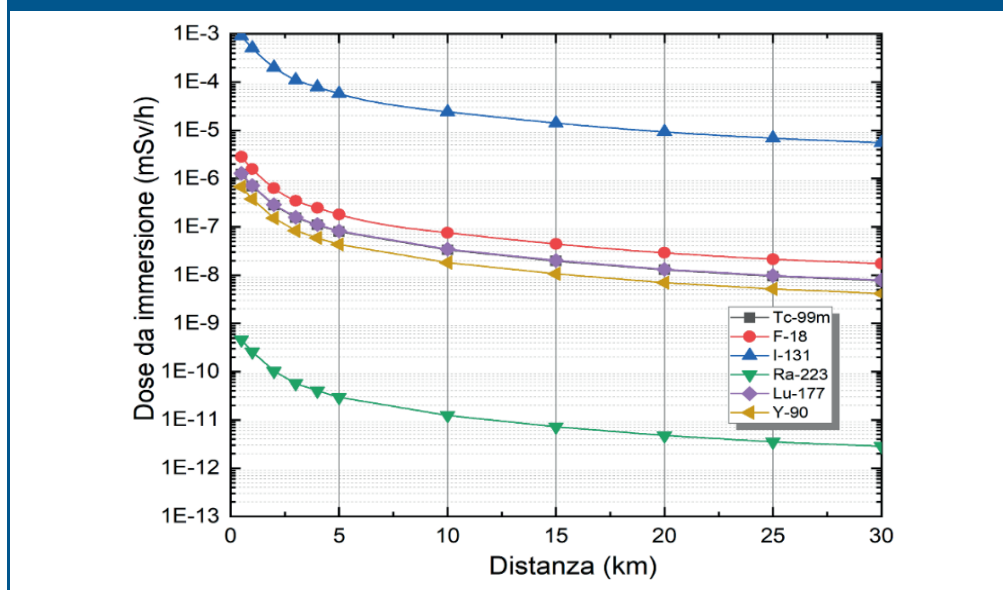
Concentrazione in aria, in funzione della distanza dal punto di rilascio



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 8

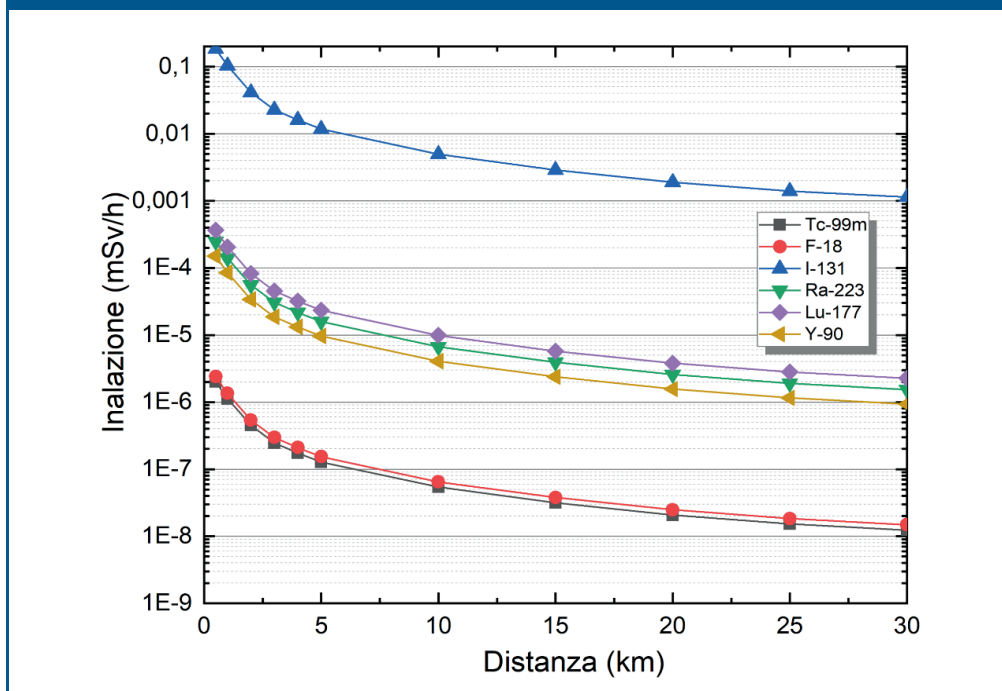
Dose da immersione



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Figura 9

Dose da inalazione



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

In Figura 7 è mostrata la concentrazione in aria dei radionuclidi considerati in Tabella 11, calcolati in funzione della distanza dal punto di rilascio. La concentrazione è stata calcolata attraverso il modello laea [laea, 2000], implementando i dati riportati in Tabella 11. Nello scenario in esame, il maggior contributo alla dose efficace (sia per immersione, sia per inalazione) è associato allo ^{131}I (Figure 8 e 9), in considerazione sia della elevata volatilità di tale radionuclide ($\text{FRF} = 0,5$) sia dell'elevata attività considerata (7,5 GBq). Nel punto di rilascio, il rateo di dose massimo imputabile a tale radionuclide è inferiore a 200 $\mu\text{Sv/h}$. Assumendo un'esposizione pari a 300 s (pari al tempo di rilascio), la dose efficace all'individuo rappresentativo (a 500 m dal punto di rilascio) risulta inferiore a 17 μSv . Ad ogni buon conto, in Tabella 12 è parametrizzata la dose totale (immersione + inalazione) per unità di attività coinvolta nell'incendio in funzione della distanza, valutata per un tempo di rilascio pari a 300 s, classe di stabilità atmosferica F, velocità del vento $u = 1$ m/s ($\text{FRF} = 0,01$ per tutti i radionuclidi ad eccezione dello ^{131}I , per cui $\text{FRF} = 0,5$).

Come già evidenziato, i fattori di diluizione DF_m per distanze inferiori a 500 m dal punto di rilascio possono essere affetti da incertezze importanti poiché a tali distanze possono dominare gli effetti di 'building wake'.

Tabella 12 Rateo di dose totale, immersione + inalazione, per unità di attività coinvolta nell'incendio

D (km)	^{99m} Tc (mSv/h)/Bq	¹⁸ F (mSv/h)/Bq	¹⁷⁷ Lu (mSv/h)/Bq	¹³¹ I (mSv/h)/Bq	²²³ Ra (mSv/h)/Bq	⁹⁰ Y (mSv/h)/Bq
0,5	$2,17 \cdot 10^{-15}$	$8,69 \cdot 10^{-15}$	$2,46 \cdot 10^{-11}$	$3,12 \cdot 10^{-11}$	$4,91 \cdot 10^{-14}$	$7,60 \cdot 10^{-14}$
1	$1,22 \cdot 10^{-15}$	$4,88 \cdot 10^{-15}$	$1,38 \cdot 10^{-11}$	$1,75 \cdot 10^{-11}$	$2,76 \cdot 10^{-14}$	$4,27 \cdot 10^{-14}$
2	$4,87 \cdot 10^{-16}$	$1,95 \cdot 10^{-15}$	$5,53 \cdot 10^{-12}$	$7,00 \cdot 10^{-12}$	$1,10 \cdot 10^{-14}$	$1,71 \cdot 10^{-14}$
3	$2,68 \cdot 10^{-16}$	$1,07 \cdot 10^{-15}$	$3,04 \cdot 10^{-12}$	$3,85 \cdot 10^{-12}$	$6,07 \cdot 10^{-15}$	$9,39 \cdot 10^{-15}$
4	$1,90 \cdot 10^{-16}$	$7,62 \cdot 10^{-16}$	$2,16 \cdot 10^{-12}$	$2,73 \cdot 10^{-12}$	$4,30 \cdot 10^{-15}$	$6,66 \cdot 10^{-15}$
5	$1,39 \cdot 10^{-16}$	$5,57 \cdot 10^{-16}$	$1,58 \cdot 10^{-12}$	$2,00 \cdot 10^{-12}$	$3,15 \cdot 10^{-15}$	$4,87 \cdot 10^{-15}$
10	$5,84 \cdot 10^{-17}$	$2,34 \cdot 10^{-16}$	$6,63 \cdot 10^{-13}$	$8,40 \cdot 10^{-13}$	$1,32 \cdot 10^{-15}$	$2,05 \cdot 10^{-15}$
15	$3,41 \cdot 10^{-17}$	$1,37 \cdot 10^{-16}$	$3,87 \cdot 10^{-13}$	$4,90 \cdot 10^{-13}$	$7,73 \cdot 10^{-16}$	$1,20 \cdot 10^{-15}$
20	$2,24 \cdot 10^{-17}$	$8,99 \cdot 10^{-17}$	$2,54 \cdot 10^{-13}$	$3,22 \cdot 10^{-13}$	$5,08 \cdot 10^{-16}$	$7,85 \cdot 10^{-16}$
25	$1,65 \cdot 10^{-17}$	$6,64 \cdot 10^{-17}$	$1,88 \cdot 10^{-13}$	$2,38 \cdot 10^{-13}$	$3,75 \cdot 10^{-16}$	$5,81 \cdot 10^{-16}$
30	$1,34 \cdot 10^{-17}$	$5,37 \cdot 10^{-17}$	$1,52 \cdot 10^{-13}$	$1,93 \cdot 10^{-13}$	$3,04 \cdot 10^{-16}$	$4,70 \cdot 10^{-16}$

Similmente è possibile valutare l'esposizione potenziale ricevuta dalle squadre di emergenza che accorrono sul sito dell'incendio. Con approccio ancora prudenziale, si assume che i componenti delle squadre di emergenza accorrono sul sito al tempo $t = 0$. Inoltre, nell'ipotesi di *double fault condition*, si assume che: i) il rilascio sia dovuto a una siringa/sorgente non sigillata esposta all'incendio poiché non detenuta in contenitore schermato; ii) i sistemi di estinzione non siano entrati in funzione durante il principio di incendio. Si assume in ultima analisi la presenza, nel laboratorio di radiofarmacia, di un sistema di ventilazione che garantisca almeno $R = 10$ ricambi orari e che le squadre di emergenza, dotate di maschere con filtri a carbone attivo con efficienza del 99% per il filtraggio dell'aria, accedano all'interno del laboratorio per un tempo pari a 10 minuti. I radionuclidi, le attività coinvolte nell'incendio e le frazioni di rilascio (FRF) sono riportate in Tabella 11. Si assume inoltre un laboratorio di dimensioni pari a $3 \text{ m} \times 4,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$ (Tabella 9), per un volume totale pari a $V = 60,75 \text{ m}^3$. Il rateo di dose efficace totale ricevuta dall'operatore della squadra di emergenza è stato valutato considerando i contributi di inalazione e immersione, i cui coefficienti sono riportati in Tabella 11 per ciascun radionuclide considerato. Il rateo di dose totale per ciascun radionuclide i , $\dot{D}(t)_i$, è dato dalla somma dei contributi di dose per inalazione e immersione. In formule:

$$\dot{D}(t)_i = (e_{\text{imm},i} + e_{\text{inal},i}) \cdot C(t)_i$$

dove:

- $e_{imm,i}$ = coefficiente di dose da immersione per unità di concentrazione per il radionuclide i [(mSv/h)/(kBq/m³)], Tabella 11;
- $e_{inal,i}$ = coefficiente di dose da inalazione per unità di concentrazione per il radionuclide i [(mSv/h)/(kBq/m³)], Tabella 11;

e con:

$$C(t)_i = \frac{(A_i \cdot FRF_i)}{V} \exp [-(\lambda_i + R)t]$$

Dove $V = 60,75 \text{ m}^3$ è il volume del locale. In Tabella 13 sono riportate le dosi D_i ricevute da un operatore della squadra di emergenza che permanga nel locale per un tempo pari a 10 minuti, calcolate per ciascun radionuclide i integrando la precedente relazione (e considerando un abbattimento del 99% dovuto alla maschera con filtro a carbone attivo):

$$\begin{aligned} D_i(10 \text{ min}) &= \int_0^{10 \text{ min}} (e_{imm,i} + 0,01 \cdot e_{inal,i}) \cdot C_i(t) dt \\ &= (e_{imm,i} + 0,01 \cdot e_{inal,i}) \cdot \int_0^{10 \text{ min}} \frac{(A_i \cdot FRF_i)}{V} \exp [-(\lambda_i + R)t] dt \end{aligned}$$

Come atteso, il contributo di dose maggiore è associato allo ¹³¹I, stante l'elevata attività coinvolta nell'incendio e l'elevato grado di volatilità ($FRF = 0,5$). Per tale radionuclide, nell'ipotesi di *double fault condition* (sorgente fuori dal contenitore schermato e malfunzionamento del sistema di estinzione dell'incendio) la dose efficace totale a un operatore della squadra di emergenza che intervenga per un tempo pari a 10 minuti è pari a circa 830 µSv.

Tabella 13 Dosi ricevute dagli operatori delle squadre di emergenza che accorrono sul sito dell'incendio al tempo $t = 0$				
Radionuclide	Attività	Impiego	$\lambda \text{ (h}^{-1}\text{)}$	D (10 min)
^{99m} Tc	$1,5 \cdot 10^6 \text{ kBq}$	Diagnostica	0,1155	0,014 µSv
¹⁸ F	$6,0 \cdot 10^5 \text{ kBq}$	Diagnostica	0,3850	0,023 µSv
¹⁷⁷ Lu	$7,5 \cdot 10^6 \text{ kBq}$	Terapia	0,0043	1,67 µSv
¹³¹ I	$7,5 \cdot 10^6 \text{ kBq}$	Terapia	0,0036	830 µSv
²²³ Ra	$8,0 \cdot 10^3 \text{ kBq}$	Terapia	0,0025	1,1 µSv
⁹⁰ Y	$2,0 \cdot 10^6 \text{ kBq}$	Terapia	0,0108	0,6 µSv

In conclusione, le modeste temperature massime raggiunte durante lo sviluppo dell'incendio unitamente alla breve durata dello stesso sono tali da rendere il rischio relativo a uno scenario incendio complessivamente moderato-basso. Nello scenario considerato il maggior contributo di dose efficace all'individuo rappresentativo della popolazione e agli operatori delle squadre di emergenza è associato allo ^{131}I , data l'elevata quantità coinvolta nell'incendio (7,5 GBq) e l'elevata volatilità di tale radionuclide (FRF = 0,5). Per l'individuo rappresentativo della popolazione tale contributo, valutato a 500 m dal punto di rilascio, risulta comunque molto basso ($< 17 \mu\text{Sv}$, nelle ipotesi di lavoro considerate). Lo stesso scenario incendio, in ipotesi di *double fault condition*, restituisce un contributo di dose efficace totale all'operatore delle squadre di emergenza che operi sul posto per 10 minuti pari a $830 \mu\text{Sv}$ (assumendo la dotazione di maschere con filtri a carbone attivo con efficienza pari al 99%).

MISURE DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

La riduzione del rischio incendio, così come ogni altro tipo di rischio, si persegue sia attraverso la realizzazione di misure preventive (mirate a ridurre la probabilità di insorgenza di incendi) sia attraverso misure protettive (finalizzate al contenimento degli effetti prodotti dell'incendio). A queste due componenti si aggiunge una misura, per così dire trasversale, che è quella dell'adozione di misure gestionali.

In termini generali si può affermare che qualsiasi insediamento umano realizzato all'interno di un edificio o struttura, se progettato solo per perseguire lo scopo primario al quale si rivolge e quindi senza una progettazione di sicurezza dedicata, è esposto a varie cause di rischio. Pertanto, lo scopo di minimizzare il rischio di incendio deve essere perseguito con il doppio fine di ridurre sia le occasioni di innesco che l'impatto generato dall'insorgere di eventuali incendi.

La prevenzione si concentra su strategie di progettazione, iterative nel verificare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza.

Misure di prevenzione

Per misura di prevenzione antincendio si intende ogni elemento da inserire nella progettualità e realizzazione di un'attività, utile a ridurre la probabilità di innesco di un incendio.

Considerando che tale probabilità non può essere ridotta a zero e che in condizioni ordinarie (cioè in assenza di comportamenti dolosi o di effetti domino non opportunamente individuati) l'incendio si avvia da un solo punto d'innesco, a titolo esemplificativo le misure per la riduzione di insorgenza di un incendio sono costituite da:

- adozione di cartellonistica per l'osservanza del divieto di fumo in ambienti chiusi;
- realizzazione di impianti elettrici realizzati a regola d'arte;

- messa a terra di impianti, strutture e masse metalliche;
- realizzazione a regole d'arte di impianti di protezione contro le scariche atmosferiche;
- ventilazione degli ambienti in presenza di vapori, gas o polveri infiammabili.

Misure di protezione

Per misure di protezione antincendio si intendono invece tutte quelle misure volte a ridurre le conseguenze di un incendio, qualora lo stesso si verifichi a fronte di ogni possibile misura preventiva intrapresa. Tali misure sono anche in questo caso divisibili in due categorie, ossia in misure di protezione attiva e passiva. Le prime sono misure o sistemi che per adempiere alla loro funzione protettiva richiedono un'azione umana, o un'azione da un dispositivo, quindi che richiedono un segnale di attuazione di un impianto come per esempio un rilevatore antifumo. I presidi e sistemi di protezione passiva, al contrario, adempiono alla loro funzione di protezione in maniera intrinseca, purché costruiti correttamente.

Misure di protezione attiva tipiche sono:

- sistemi di estinzione specifici in funzione della valutazione del rischio incendio;
- impianti di rivelazione automatica d'incendio;
- impianti di spegnimento automatici;
- dispositivi di segnalazione e d'allarme;
- segnaletica di sicurezza;
- illuminazione di emergenza e alimentazione elettrica di sicurezza;
- evacuatori di fumo e calore;
- squadra di emergenza.

Misure di protezione passive sono invece:

- elementi e strutture aventi caratteristiche di resistenza al fuoco commisurate ai carichi d'incendio (compartimenti antincendio);
- materiali classificati per la reazione al fuoco;
- sistemi di aerazione permanente di tipo meccanico;
- sistemi di vie di uscita.

In aggiunta ai dispositivi e sistemi di prevenzione e protezione, devono essere previsti quelli gestionali, in molti casi a supporto di entrambe le due categorie, in altri casi trasversali (si pensi all'informazione e formazione della squadra di emergenza), e comunque necessari al mantenimento dei requisiti prestazionali di sicurezza così raggiunti.

Misure di tipo organizzativo-gestionale tipiche sono:

- rispetto dell'ordine e della pulizia;
- controlli sulle misure di sicurezza adottate;
- rispetto delle norme di esercizio e dei divieti, limitazioni, ecc.

In definitiva, l'adozione della strategia complessiva così descritta, fondata sulla riduzione degli elementi di rischio, porta dunque a ridisegnare un'attività, come per esempio una MN, non solo rispetto ai propri scopi, come la possibilità di eseguire diagnosi e terapie, ma anche rispetto agli scopi di sicurezza che le norme antincendio si prefiggono.

Tuttavia si evidenzia che non sempre gli strumenti di riduzione del rischio incendio collimano con quelli volti a ridurre il rischio radiologico. Si pensi ad esempio all'effetto contenitivo da fumi e calore prodotto da una porta tagliafuoco rispetto all'effetto di schermatura da irraggiamento da radiazione di una porta in piombo. Pertanto la corretta progettazione prevede conoscenze multidisciplinari che conducano a una sintesi tra la disciplina dell'antincendio e della radioprotezione.

CONCLUSIONI

L'utilizzo di radionuclidi in ambito sanitario è pratica medica in continua evoluzione, e sempre più largamente diffusa, per la gestione 'in sicurezza' della quale è opportuno procedere in valutazioni preventive che, in allineamento peraltro a quanto richiesto dalla normativa vigente e dagli iter autorizzativi previsti, contemplino anche situazioni di rischio standard quali incendio, allagamento e terremoto, comportanti esposizioni potenziali tanto dei lavoratori quanto della popolazione. Nell'approcciarsi a questo genere di valutazione, gli autori hanno inteso procedere secondo un principio di priorità e gradualità in base al quale approfondire in modo più o meno quantitativo le proprie considerazioni, di fatto quindi non ripartendo in parti uguali il proprio interesse, ma comunque impegnandosi a fornire al lettore chiavi operative utili per ciascuno degli scenari affrontati.

I casi studio presentati nel corpo di questo documento (incendio e allagamento) dimostrano che, anche negli scenari di massimo incidente credibile in condizioni di *double fault conditions*, in presenza di adeguate misure di prevenzione e protezione non c'è esposizione rilevante né degli operatori né della popolazione, e che le dosi di radiazioni potenzialmente ricevute sono, nella maggior parte dei casi, diversi ordini di grandezza al di sotto dei limiti previsti dalla normativa vigente. Questo obiettivo è peraltro ben raggiungibile anche per quello scenario (terremoto) nel quale (vedasi relativo allegato), alla presentazione di uno specifico caso studio, si è preferito anteporre una trattazione più qualitativa, atta comunque a guidare il lettore verso la consapevolezza di quale debba essere il modo più immediato per individuare il giusto *modus operandi* in fase sia preventiva che gestionale.

Dal momento che gli eventi incidentali affrontati non sono per lo più controllabili, la gestione dei relativi rischi deve concentrarsi su una puntuale applicazione delle norme di prevenzione, su un'adeguata preparazione e su una pronta risposta alle emergenze. L'obiettivo della radioprotezione deve quindi essere quello di identificare scelte progettuali puntuali, che consentano di prevenire, per quanto possibile, gli eventi incidentali, e codificare sistemi di controllo adatti a contenere i danni e limitare gli effetti, nel rispetto del principio di ottimizzazione.

Ove possibile, questo documento presenta quindi misure di prevenzione e protezione tecniche generiche per abbattere le esposizioni emergenziali: il processo decisionale che porta alla loro adozione risulta però tanto più efficace e tanto meno fallibile quanto più riesca a coinvolgere team multidisciplinari e a forte integrazione culturale e professionale, capaci di valorizzare le reciproche diversità curriculari degli esperti in campo e di, per così dire, armonizzare i vari profili di responsabilità.

Un sistema organizzativo virtuoso deve prevedere sicuramente il coinvolgimento dell'ERP sin dalla fase progettuale dell'installazione di cui trattasi, ma non può non essere considerato come elemento irrinunciabile la sua collaborazione con le altre

figure tecniche di prevenzione previste dal d.lgs. 81/2008 e d.lgs. 139/2006, con particolare riferimento al progettista antincendio e al responsabile del servizio di prevenzione e protezione, dando così forma ad un team di esperti che metta in campo un approccio olistico e con maggiore possibilità di successo [Contessa, 2020]. Per quanto riguarda il rischio da allagamento, stante la crescente frequenza e intensità di eventi meteorologici estremi, è raccomandato che scenari incidentali correlati a questo tipo di evento siano considerati nell'analisi di sicurezza [Contessa, 2016], anche avvalendosi di dati meteorologici aggiornati e considerando che la gravità dell'impatto dipende dalla vulnerabilità del sistema.

Per quanto riguarda il rischio da incendio, l'analisi procede secondo una duplice prospettiva: 1) valutazione della temperatura massima raggiungibile e, sulla base dei risultati ottenuti; 2) valutazione dell'impatto radiologico attraverso la stima dell'esposizione degli operatori e dei possibili rilasci in atmosfera. In linea generale, il basso carico di incendio tipicamente presente nei locali in cui si manipolano/detengono radionuclidi e la presenza di adeguati sistemi prevenzione e protezione sono tali da far ritenere moderato-basso il rischio incendio in una MN. Pur tuttavia il caso studio presentato consente di delineare alcune considerazioni di carattere generale particolarmente utili: se da un lato è ragionevole ritenere che, anche in uno scenario conservativo come quello preso in esame, la dose all'individuo rappresentativo della popolazione sia trascurabile, o comunque molto più bassa del limite previsto dal sistema regolatorio nazionale (1 mSv/anno, art. 146 d.lgs. 101/2020), dall'altro la dose ricevuta da operatori delle squadre di emergenza dotati di maschere con filtri a carbone attivo con efficienza del 99% (0,83 mSv) suggerisce l'importanza dell'adozione di tali DPI in caso di incendio, specialmente in reparti che impieghino radiofarmaci a scopo terapeutico (in modo particolare ¹³¹I per il trattamento del carcinoma tiroideo).

Inoltre, per distanze inferiori a 500 m dal punto di rilascio i fattori di diluizione del pennacchio gaussiano possono essere affetti da incertezze anche importanti per la possibile presenza di edifici o strutture che possono alterare la diffusione del contaminante. Al di sotto di tale distanza è sempre raccomandata un'attenta analisi della reale dispersione del contaminante rilasciato, anche attraverso modelli più accurati.

È opportuno in ultima analisi osservare che la definizione di uno scenario incidentale impone sempre la collaborazione di più professionisti (RSPP, ERP, esperto antincendio, progettista, squadre di emergenza/intervento), e la valutazione di tale rischio, specialmente in locali in cui si manipolano radionuclidi, deve essere sempre riferita allo specifico contesto, alle risorse disponibili, all'ubicazione dei locali, alla localizzazione geografica del sito, nonché alle specifiche misure di prevenzione e protezione adottate.

Ferma restando l'autonomia di ciascuna autorità competente non qui rappresentata nel valutare-magari diversamente da quanto qui proposto-quale debba essere la risposta più idonea di fronte ad una specifica criticità

radioprotezionistica, è opinione convinta degli autori che il favorire la creazione di una matrice comune di linguaggio e di approccio operativo fra chi vigila e chi viene vigilato rappresenti un valore aggiunto irrinunciabile sul quale fondare gli auspicabili progressi che in tema di igiene, salute e sicurezza potremo riscontrare nei prossimi anni, anche nell'ambito della radioprotezione [D'Avanzo, 2023].

BIBLIOGRAFIA

Anzidei P, Barra MI, Belliato R et al. La sicurezza in ospedale - Strumenti di valutazione e gestione del rischio. Fascicolo III. Inail; 2012.

CEVAD. Manuale per le Valutazioni Dosimetriche e le Misure Ambientali. 2010.

Contessa GM, D'Arienzo M, Poggi C et al. La pianificazione dell'emergenza nelle pratiche con materie radioattive. Convegno Nazionale dBA 2017 "Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti: valutazione e protezione alla luce della nuova normativa europea"; Modena;123; 2017.

Contessa GM, De Crescenzo SA, Rossi P. L'ottimizzazione della radioprotezione nel contesto nazionale e internazionale. Bollettino AIRP 2020. Anno XLVII, Volume 178, Numero 1-4; 2020.

Contessa GM, Guardati M, Poggi C et. al. Eventi climatici estremi ed emergenze radiologiche. Atti del Convegno Nazionale AIRP di Radioprotezione; Trieste, 19-21 ottobre 2016.

Contessa GM, Mazzucconi D, Rizzo A et al. Environmental impact assessment of radioactive gaseous releases from modern accelerators: case studies of low and medium energy regime. EPJ-P. 2023.

D'Avanzo MA, Contessa GM, Campanella F. Self-assessment checklists by the competent authority used for internal audits in healthcare facilities. Physica Medica. 2023;115(1).

D'Avanzo MA, Contessa GM, De Crescenzo SA et al. Progettazione di ambienti dedicati alla manipolazione di sorgenti non sigillate e alla produzione di radiofarmaci. Inail; 2022.

Gomez Palacios M, and Cuetos Menendez A. Study of surface an atmospheric pollution in radioiodine from Hospitals. Radioproteccion. 1999; 21(VII):23-30.

Icrp. Compendium of Dose Coefficients based on Icrp Publication 60. Icrp Publication 119; 2012.

Icrp. Dose coefficients for external exposures to environmental sources. Icrp Publication 144; 2020.

International Atomic Energy Agency. Cyclotron Produced Radionuclides: Guidelines for Setting Up a Facility. Iaea Technical Reports Series n. 471. Iaea; 2009.

International Atomic Energy Agency. Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency. Iaea tecdoc 1162. Iaea; 2000.

International Atomic Energy Agency. Nuclear Medicine Resources Manual 2020 Edition. IAEA Human Health Series n. 37. IAEA; 2020.

Ramsey NW, Dunn M, Bhattacharyya AK et al. Loss of iodine 125 from labelled proteins. The British Journal of Radiology. 1980;53(628): 357-358.

Rizzo A, Antonacci G, Borra E et al. Environmental gamma dose rate monitoring and radon correlations: evidence and potential applications. Environments. 2022; 9(6): 66.

Sabatino R, Lombardi M, Sciarretta N et al. La resistenza al fuoco degli elementi strutturali - Focus sulla misura S.2 del Codice di prevenzione incendi. Inail; 2019.

Sullivan AH. "Guide to radiation and radioactivity levels around high energy particle accelerators", Nuclear Technology Publishing; 1992.

U.S. Department of Energy, External Dose-Rate Conversion Factors for Calculation of Dose to the Public; 1988.

U.S. Environmental Protection Agency, Federal Guidance Report No. 15: External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil; 2019.

Vigne G. Medicina Nucleare: il rischio incendio nei reparti dove si manipolano radioisotopi. Antincendio; 2014.

RIFERIMENTI NORMATIVI

Decreto del Ministero dell'interno 29 marzo 2021

Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le strutture sanitarie. (21A02099) (G.U. Serie generale n. 85 del 09 aprile 2021).

Decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101

Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117 (G.U. Serie generale n. 201 del 12 agosto 2020 - Suppl. ordinario n. 29).

Decreto del Ministero dell'interno 3 agosto 2015

Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139. (15A06189) (G.U. Serie generale n.192 del 20-08-2015 - Suppl. ordinario n. 51).

Decreto del Ministero dell'interno 19 marzo 2015

Aggiornamento della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private di cui al decreto 18 settembre 2002. (15A02307) (G.U. Serie generale n. 70 del 25 marzo 2015).

Decreto del Presidente della Repubblica 1° agosto 2011, n. 151

Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122 (G.U. 22 settembre 2011, n. 221).

UNI EN 1822-1:2010

Filtri per l'aria ad alta efficienza (EPA, HEPA e ULPA) - Parte 1: Classificazione, prove di prestazione, marcatura.

UNI EN 1991-1-2:2004

Eurocodice 1, Azioni sulle strutture - Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco.

Testo coordinato del decreto ministeriale del 18 settembre 2002

Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private.

UNI 10491:1995

Criteri per la costruzione di installazioni adibite alla manipolazione di sorgenti radioattive non sigillate.

UNI 7496:1975 - Impianti nucleari

Collaudo di efficienza dei sistemi filtranti per particelle installati nei condotti di ventilazione.

ACRONIMI

CGE	Centro gestione emergenze
DOE	Department of Energy
DPI	Dispositivi di protezione individuale
EM	Esposizione di emergenza
ERP	Esperto di radioprotezione
ES	Esposizione esistente
EVAC	Emergency voice alarm communication
FRF_i	Fire release fraction
Iaea	International Atomic Energy Agency
Icrp	International Commission on Radiological Protection
IRAI	Impianti di rivelazione ed allarme incendio
MN	Medicina nucleare
PP	Situazione di esposizione pianificata
REX	Return of experience
RSPP	Responsabile del servizio prevenzione e protezione
RTO	Regola tecnica orizzontale
RTV	Regola tecnica verticale
UTA	Unità di trattamento dell'aria
UO	Unità operativa
VVF	Vigili del fuoco

RINGRAZIAMENTI

In relazione alla stesura del presente lavoro, si ringraziano i colleghi Fabrizio Banci Buonamici, Federica Fioroni, e Domenico Giovannetti, in particolare per la preziosa disponibilità al confronto dimostrata in sede di revisione del documento, Michela Baccolini, Oreste Bagni e Luca Indovina, in particolare per il contributo fornito in relazione ad alcuni dei contenuti rappresentati all'interno del testo.

ALLEGATI

ALLEGATO I

NORMATIVA ANTINCENDIO

In generale, la sicurezza antincendio persegue l'intento di garantire un livello adeguato di prevenzione e protezione determinato univocamente attraverso il rispetto di requisiti di progettazione e di gestione garantiti dall'osservanza di un costruito normativo che ha validità su tutto il territorio nazionale.

Gli atti di rilevanza giuridica in materia di prevenzione incendi, scritte dal dipartimento dei Vigili del fuoco, assumono in generale la forma di leggi, decreti legislativi, decreti del Presidente della Repubblica, decreti ministeriali e circolari ministeriali. Oltre alle fonti normative sopra indicate, su vari argomenti possono essere emanate anche note ministeriali di risposta a singoli quesiti di prevenzione incendi. La normativa per la prevenzione degli incendi nelle attività lavorative negli ultimi dieci anni ha subito una fondamentale trasformazione a partire dalla emanazione del d.p.r. 151/2011, decreto vigente, che riporta le 80 attività soggette a rischio incendio e al controllo dei vigili del fuoco, introducendo per ognuna di esse una classificazione del rischio a tre livelli crescenti (da A a C) tramite una o più metriche caratteristiche dell'attività stessa.

Di rilievo per i rischi connessi alle attività radiologiche sono le attività riportate nell'Allegato I del d.p.r. 151/2011, numerate dalla 58 alla 62, oltre ovviamente alla n. 68 specificamente rivolta ad ospedali, case di ricovero e ad ambulatori. Nello specifico:

- n. 58 - Pratiche assoggettate a nulla osta di categoria A e B;
- n. 59 - Autorimesse per ricovero di mezzi di trasporto di materie radioattive;
- n. 60 - Impianti di deposito delle materie nucleari;
- n. 61 - Impianti con combustibili nucleari/prodotti/residui radioattivi;
- n. 62 - Impianti relativi all'impiego pacifico dell'energia nucleare;
- n. 68 - Strutture sanitarie che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero o di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio.

Da notare che, mentre per il d.p.r. 151/2011 il rischio delle strutture sanitarie da un punto di vista antincendi, è funzione della superficie della struttura e del numeri di posti letto, per le attività in cui vi sia detenzione ed impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti la classificazione del rischio segue esattamente quella prevista dal d.lgs. 230/1995, oggi sostituita dal d.lgs. 101/2020, e cioè il rischio antincendio aumenta con il rischio radiologico; in altre parole il rischio antincendio di una attività con regime autorizzativo di nulla osta di categoria B è inferiore a quello di una categoria A.

Dunque, i progettisti incaricati (abilitati ai sensi del d.lgs. 139/2006) di disegnare o rivedere la protezione antincendio di una struttura sanitaria in cui si impiegano sorgenti di radiazioni ionizzanti o sostanze radioattive si baseranno sulle classificazioni di rischio incendio previste per le attività n. 58 e n. 68 del d.p.r. 151/2011.

Il d.p.r. 151/2011 non ha subito modifiche dall'entrata in vigore del d.lgs. 101/2020, e i riferimenti all'abrogato d.lgs. 230/95 sono stati riferiti ai corrispondenti istituti del d.lgs. 101/2020 attraverso la lettera circolare DCPREV prot. n. 12000 del 16-09-2020. In particolare, la lettera circolare modifica i parametri per l'assoggettamento alle diverse autorizzazioni in materia di sicurezza contro le radiazioni ionizzanti e di conseguenza vengono modificati anche i valori per l'assoggettamento ai controlli di prevenzione incendi delle attività ai punti n. 58, 59, 60, 61 e 62 dell'Allegato I al d.p.r. 151/2011.

Si riporta, nella Tabella 14, uno stralcio dell'Allegato I al d.p.r. 151/2011, relativo alle attività interessate, con l'aggiornamento dei riferimenti normativi.

Tabella 14 Allegato I al d.p.r. 151/2011, relativo alle attività interessate, con l'aggiornamento dei riferimenti normativi				
N.	Attività	Cat. A	Cat. B	Cat. C
58	Art. 50 del d.lgs. 101/2020 ed art. 13 legge 31 dicembre 1962, n. 1860		Assoggettate a nulla osta di categoria B di cui all'art. 52 del d.lgs. 101/2020	Assoggettate a nulla osta di categoria A di cui all'art. 51 del d.lgs. 101/2020 ed art. 13 della legge 31 dicembre 1962, n. 1860
59	Autorimesse adibite al ricovero di mezzi utilizzati per il trasporto di materie fissili speciali e di materie radioattive (art. 43 del d.lgs. 101/2020)			Tutti
60	Impianti di deposito delle materie nucleari ed attività assoggettate agli art. 59 e 95 del d.lgs. 101/2020 con esclusione dei depositi in corso di spedizione			Tutti
61	Impianti nei quali siano detenuti combustibili nucleari o prodotti o residui radioattivi [art. 1, lettera b della legge 31 dicembre 1962, n. 1860]			Tutti

	(Rimane invariato anche con l'entrata in vigore del d.lgs. 101/2020)			
62	Impianti relativi all'impiego pacifico dell'energia nucleare ed attività che comportano pericoli di radiazioni ionizzanti derivanti dal predetto impiego: - impianti nucleari; - reattori nucleari, eccettuati quelli che facciano parte di un mezzo di trasporto; - impianti per la preparazione o fabbricazione delle materie nucleari; - impianti per la separazione degli isotopi; - impianti per il trattamento dei combustibili nucleari irradianti; - attività di cui agli artt. 76 e 94 del d.lgs. 101/2020			Tutti

Sebbene le condizioni di assoggettabilità e di classificazione di rischio relative a una MN e a un laboratorio in cui si manipolino sostanza radioattive rimangano le stesse previste prima dell'introduzione del d.lgs. 101/2020, la sopra menzionata circolare DCPREV prot. n. 12000 pone l'attenzione su due aspetti specifici trattati dal nuovo testo unico sulla radioprotezione; la prima è relativa all'impiego di sostanze radioattive non sigillate, che il nuovo decreto distingue da quelle sigillate introducendo dei limiti di attività diversi da quelli usati nel precedente costrutto normativo (i.e., d.lgs. 230/1995). La seconda riguarda l'impiego di sorgenti mobili di radiazioni che, in funzione della potenza di accelerazione, del tipo di impiego, e della eventuale presenza di sorgenti radioattive all'interno dell'apparato, rientrano o meno tra le casistiche di rilascio del nulla osta di categoria B. In termini pratici queste segnalazioni si traducono nel porre attenzione che una MN, qualora trasli in autorizzazione di rango radiologico superiore (da nulla osta B ad A) per effetto dell'impiego di sostanze non sigillate, di conseguenza trasla anche a un fattore di rischio antincendio superiore (da attività soggetta 58.B ad attività 58.C in Tabella 14).

Il d.p.r. 151/2011, oltre a costituire uno strumento utile per l'inquadramento del rischio delle attività soggette al controllo dei VVF, ha portato delle importanti semplificazioni come l'introduzione della SCIA (segnalazione certificata di inizio attività) che per una MN può essere redatta e consegnata separatamente dal resto della struttura sovrastante (e.g., altri reparti).

Si osserva che il d.p.r. 151/2011 è uno strumento normativo semplificante e utile per inquadrare il regime di rischio incendio e radiologico di una attività, ma non fornisce specifici requisiti per la progettazione antincendio che sono invece

riconducibili a una serie di decreti ministeriali in buona misura tra di loro alternativi a seconda della data di costruzione e di entrata in servizio della struttura ospedaliera.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER LA PROGETTAZIONE DI STRUTTURE SANITARIE CON IMPIEGO DI RADIAZIONI IONIZZANTI

I tre decreti del Ministero dell'interno principe e vigenti per poter asservire una struttura ospedaliera dei necessari sistemi fisici e gestionali per la prevenzione e protezione antincendio sono il d.m. 18/09/2002, di fatto la prima norma tecnica di prevenzione incendi specifica per le strutture sanitarie, il d.m. 19/03/2015, aggiornamento della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private di cui al d.m. 18/09/2002, e il d.m. 29/03/2021 che costituisce la regola tecnica verticale (RTV) da applicare in combinazione con il d.m. 03/08/2015, altresì noto come Codice di prevenzione incendi.

Prima di esporre le caratteristiche e la applicabilità degli enunciati decreti ministeriali vale la pena sottolineare che tale quadro normativo è in buona parte antecedente alla emanazione del d.lgs. 101/2020.

Il d.m. 18/09/2002 ha provveduto a colmare il vuoto normativo riguardante la progettazione, la costruzione e l'esercizio di strutture sensibili, complesse e di primaria importanza per la collettività ovvero delle strutture sanitarie, sino ad allora citate ed introdotte tra le attività riportate nell'Allegato 1 del d.m. 16/02/1982 poi sostituito dalla analoga tabella del d.p.r. 151/2011. È da tale anno infatti che diventano attività soggette alle visite e ai controlli di prevenzione incendi, seppur in assenza di uno specifico riferimento di progettazione verticale, gli ospedali, le case di cura e simili con oltre 25 posti-letto, unitamente agli istituti, laboratori, stabilimenti e reparti in cui si effettuano, anche saltuariamente, ricerche scientifiche o attività industriali per le quali si impiegano radionuclidi, apparecchi contenenti dette sostanze ed apparecchi generatori di radiazioni ionizzanti (art. 13 della l. 1860/1962 e art. 102 del d.p.r. 185/1964).

Il d.m. 18/09/2002 dunque costituisce la prima norma verticale specifica per le strutture sanitarie in grado di disciplinare le aree tecniche di un ospedale contenenti apparecchiature ad alta energia, la cui definizione è stata definitivamente chiarita circa 10 anni dopo con la nota DCPREV prot. n. 2533 del 20/02/2013, ossia macchine in grado di accelerare particelle cariche con energia massima superiore a 1,67 MeV e cioè tale da non escludere la possibilità di attivazione dei materiali alla stessa circostanti (aria, metalli, oggetti vari). Le indicazioni di merito relative alla progettazione antincendio dei reparti e degli ambienti in cui vi è la presenza di rischio radiologico sono state fornite dal documento diffuso dal Comando provinciale Vigili del fuoco di Roma e dal titolo

‘Linee Guida di Prevenzione Incendi da applicarsi alle attività individuate al punto 75 d.m. 16/02/1982’.

Quindi ad eccezione delle specifiche e della linea guida appena descritte, per anni, di fatto sino al 2015, non vi è stata alcuna norma prescrittiva verticale riferibile alla progettazione di attività ed ambienti in cui vi fosse impiego, manipolazione e detenzione di sostanze radioattive e l’uso di macchine di potenza che generino radiazioni ionizzanti. In aggiunta il d.m. 18/09/2002 non aveva propriamente contemplato le procedure di adeguamento da porre in essere in caso di strutture sanitarie costruite e messe in attività in data antecedente alla sua emanazione.

Ad ovviare a queste necessità ci ha pensato il d.m. 19/03/2015 che ha introdotto procedure di adeguamento alle strutture preesistenti opportunamente pesate sulla complessità edilizia ed impiantistica delle strutture sanitarie esistenti. Tale decreto ha fornito la possibilità di adempiere ai requisiti richiesti sia tramite realizzazioni (laddove possibili e gestite in più fasi) di sistemi di sicurezza aggiuntivi sia attraverso l’introduzione di misure di sicurezza compensative tra cui anche quelle di tipo gestionale. Nello specifico il decreto ha consentito l’adeguamento delle strutture ospedaliere e delle strutture ambulatoriali ai tempi esistenti attraverso un piano di adeguamento antincendi, con scadenze temporali stabilite avvalendosi dello strumento fornito dal d.p.r. 151/2011 e cioè dalla SCIA parziale, e inerente al rispetto delle prescrizioni di sicurezza previste. Durante il periodo di adeguamento la compensazione del rischio residuo viene garantita dal rispetto di una serie di adempimenti di carattere gestionale.

Invece per quanto riguarda la definizione di elementi di progettazione specifici alla radioprotezione il d.m. 19/03/2015, introduce proprio il concetto di area a rischio specifico da radiazione o Area di tipo F definite come: ‘aree destinate a contenere apparecchiature ad elevata tecnologia oppure sorgenti di radiazioni ionizzanti (sorgenti radioattive, apparecchiature o dispositivi contenenti sorgenti radioattive, apparecchiature ad alta energia di tipo ionizzante e simili) che siano soggette ai provvedimenti autorizzativi di nulla osta per impiego di categoria A e B, ai sensi del d.lgs. 230/1995 e s.m.i. (che oggi andrebbe riscritto come ai sensi del d.lgs. 101/2020). Sono ricompresi i limitati posti di degenza annessi a dette aree, distinguendo le apparecchiature ad elevata tecnologica dalle apparecchiature ad alta energia di tipo ionizzante. Le aree a rischio specifico di tipo F contemplano la predisposizione di misure di protezione particolari, sintetizzate in Tabella 15.

Tabella 15 Progettazione delle aree a rischio specifico di tipo F in strutture ospedaliere esistenti secondo il d.m. 19/03/2015

Caratteristiche Aree F	Prescrizioni per la progettazione antincendio
Ubicazione	Degenza prevista ma non ammissibile ubicazione di area F oltre il secondo piano interrato.
Resistenza al fuoco e compartimentazione	Porte e strutture separanti di caratteristica non inferiore a REI/EI 60.
Comunicazioni	Aree con apparecchiature ad elevata tecnologia, possono comunicare con altri compartimenti (ambulatori, degenza ed uffici) e con i percorsi di esodo orizzontali con porte EI 60. Aree con apparecchiature alta energia possono comunicare con aree adibite a ricovero purché siano separate con filtri a prova di fumo e ove necessario anche provvisti di sistemi di aerazione e ventilazione dotati di adeguati apparati di filtraggio.
Impianto di spegnimento	Previsto e impianto compatibile con le apparecchiature installate e estinguente compatibile con le sorgenti radioattive eventualmente presenti.
Separazione dal resto della struttura	Separazione mediante filtri a prova di fumo, dalle vie d'accesso ai piani sovrastanti.
Locali destinati a produzione di sorgenti radioattive non sigillate	- strutture di separazione di caratteristiche non inferiori a REI/EI 60; - porte di caratteristiche non inferiori a EI 60; - accesso tramite filtri a prova di fumo in sovrappressione; - illuminazione di sicurezza di almeno 5 lux; - sistemi di areazione naturale con scarico verso l'esterno adeguatamente filtrato con idonei apparati; - eventuali sistemi di ventilazione forzata devono essere realizzati in modo da evitare il ricircolo dell'aria, anche in caso di incendio, ed avere alimentazione elettrica secondaria che entri in funzione automaticamente; - comando elettrico generale posto all'esterno dei locali.
Esodo	Massimo affollamento persone effettivamente presenti incrementate del 20%.

IL CODICE PREVENZIONE INCENDI E LA SUA APPLICAZIONE NEI REPARTI IN CUI SI MANIPOLANO RADIONUCLIDI

Il d.m. 03/08/2015, conosciuto come Codice di prevenzione incendi [d.m. 03/08/2015] costituisce il punto di svolta nella evoluzione delle norme antincendi in generale e di conseguenza anche nell'ambito particolare della progettazione delle strutture sanitarie. La sua introduzione marca il passaggio nel sistema di

progettazione per la sicurezza antincendio poiché basato su un approccio non più prescrittivo ma prestazionale, utile ad aderire ai nuovi dettami imposti dal progresso tecnologico nella definizione degli edifici tra cui, per citare i più importanti, nuove forme geometriche, e soprattutto nuovi ambiti d'uso.

Il d.m. 3/08/2015 (con le sue dovute e successive revisioni) ha fatto sì che i professionisti dell'antincendio abbiano potuto disporre di unico testo (da questo punto di vista in analogia a quanto avvenuto per la radioprotezione con il d.lgs. 101/2020) che comprende e racchiude tutti gli strumenti necessari per la connotazione dei rischi d'incendio, per la valutazione delle misure per prevenirli e per limitarne le conseguenze tramite un'ampia varietà di soluzioni applicabili a qualsiasi struttura.

Partendo dal mondo anglosassone, i metodi prestazionali (studio dell'evoluzione dinamica dell'incendio con previsione scientifica delle prestazioni della struttura) si sono affiancati, e spesso sostituiti, ai metodi prescrittivi (rispetto rigoroso di norme tecniche tramite misure preventive e protettive), trasformando l'impianto normativo in uno strumento flessibile, più al passo con l'incessante progresso tecnologico e con gli standard europei ed internazionali.

La filosofia del Codice è costruita attorno all'idea che la strategia antincendio è quindi di protezione e prevenzione dei rischi a persone, cose ed ambiente è definita da una regola tecnica unica per tutte le attività soggette e quindi orizzontale (anche detta regola tecnica orizzontale o RTO) alla quale si ancorano, progressivamente emanate del legislatore, le norme di specifico ambito e quindi proprie di una determinata attività (regole tecniche verticali o RTV).

Nello specifico il codice si basa su un sistema prestazionale attraverso l'adozione di una serie di livelli di prestazione legati alle specifiche misure antincendio, come reazione al fuoco, resistenza al fuoco, compartimentazione, ecc. Tramite questo approccio il codice, rispetto alla precedente normativa di tipo prescrittivo, consente di garantire standard di sicurezza antincendio elevati offrendo al progettista un insieme di soluzioni progettuali conformi e alternative. Queste ultime adottate mediante riferimenti bibliografici, casi studio e tramite l'utilizzo di modelli matematici.

Le RTV sono intese come disposizioni normative in materia di prevenzione incendi e hanno lo scopo di caratterizzare meglio una specifica tipologia di attività dal punto di vista antincendio fornendo, per la stessa, altre indicazioni che possono essere complementari rispetto a quelle già suggerite nelle diverse sezioni del Codice di prevenzione incendi.

Il 9 maggio 2021 entra in vigore il d.m. del 29/03/2021 [d.m. 29/03/2021] (*Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le strutture sanitarie*), la nuova regola tecnica verticale per le strutture sanitarie. In generale per quanto riguarda la strategia antincendio devono essere applicate tutte le misure antincendio della regola tecnica orizzontale. Tuttavia la RTV strutture sanitarie presenta anche una serie di paragrafi con indicazioni complementari o sostitutive

rispetto a quanto suggerito nella RTO. Il campo di applicazione di questa RTV definisce le attività gestibili con questa normativa, così come specificate dall'art. 2 del decreto, ossia:

- strutture sanitarie che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero o residenziale (a ciclo continuativo o diurno) con numero di posti letto maggiore di 25;
- residenze sanitarie assistenziali (RSA) con numero di posti letto maggiore di 25;
- strutture sanitarie che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, comprese quelle riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio, con superficie complessiva superiore a 500 m².

Le strutture con meno di 25 posti letto, invece, devono fare riferimento alle disposizioni della regola tecnica orizzontale riportata dal d.m. del 03/08/2015.

La nuova RTV si applica sia alle attività esistenti alla data di entrata in vigore del decreto, che a quelle di nuova realizzazione. Ad oggi l'applicazione di questa possibilità normativa, però, è ancora demandata ad una scelta, restando in essere il cosiddetto 'doppio binario', ovvero la possibilità di utilizzare ancora il percorso 18 settembre 2002.

Il decreto definisce una distinzione tra apparecchiature ad elevata tecnologia (risonanza magnetica, tomografia computerizzata e simili) e apparecchiature ad alta energia (ciclotroni per la produzione di radio farmaci, betatroni e simili). La distinzione tra le due categorie di apparecchiature si basa sul superamento o meno della soglia di energia accelerazione di 10 MeV, sotto la quale si presume si possa escludere la presenza di radioattività, nei pressi della apparecchiatura, anche dopo lo spegnimento della stessa.

La RTV sulle strutture sanitarie classifica queste ultime in base a tre parametri, ovvero tipologia delle prestazioni erogate, quota di tutti i piani e numero di posti letto. Un'ulteriore classificazione viene indicata, poi, per le aree di attività suddivise in sette tipologie principali. Tra queste figurano le aree classificate TB ovvero destinate a prestazioni medico-sanitarie di tipo ambulatoriale ove non è previsto il ricovero, a loro volta ricomprese in:

- **TB1.** Ambulatori, centri specialistici, centri di diagnostica, consultori, aree con apparecchiature ad elevata tecnologia, esclusi gli ambienti dove sussiste il rischio dovuto a radiazioni ionizzanti;
- **TB2.** Ambulatori, centri specialistici, centri di diagnostica con presenza di sorgenti di radiazioni ionizzanti sigillate o non sigillate o con presenza di apparecchiature ad alta energia di tipo ionizzante.

Per gli aspetti di progettazione di un'UO di MN, il paragrafo V.11.5.7 dedicato al controllo di fumi e calore, al punto 2, stabilisce che:

- le aree di tipo TB2 con presenza di sorgenti di radiazioni ionizzanti non sigillate e in generale ogni area ove, a seguito d'incendio, non si può escludere la

presenza di contaminazione radiologica dei prodotti della combustione, devono essere dotate di sistemi di ventilazione meccanica dotati di filtri assoluti (es. filtri assoluti a carboni attivi, ecc.), realizzati in modo da evitare la dispersione di sostanze radiologiche eventualmente contenute nei prodotti della combustione;

- i sistemi di ventilazione meccanica delle aree di tipo TB2 devono essere in grado di garantire la prestazione in caso di incendio. L'alimentazione elettrica dell'impianto deve essere garantita, oltre che dalla sorgente di alimentazione ordinaria, da alimentazione di sicurezza con caratteristiche di autonomia ed interruzione previste per 'altri impianti'.

Dunque, le aree classificate TB2 necessitano di specifici ed importanti accorgimenti dovuti al fatto che in tali aree vi possono essere apparecchiature sopra i 10 MeV e/o presenza di radionuclidi in forma sigillata e non sigillata.

In conclusione, si può dire che la progettazione antincendio riferita a strutture sanitarie, sia di nuova costruzione che per quelle che necessino di adeguamenti, può essere condotta seguendo diversi percorsi normativi, e cioè riferendosi al Codice di prevenzione e alla recente regola verticale del d.m. del 29/03/2021, o in alternativa, usando le regole prescrittive previste dal d.m. del 18/09/2002. La regola tecnica prescrittiva del d.m. 19/03/2015, in certi casi può altresì essere utilizzata anche se a rigore andrebbe considerata come una norma transitoria quasi in scadenza; infatti, la stessa è stata redatta e pubblicata con l'intento di supportare l'adeguamento delle strutture sanitarie attraverso una serie di progressivi adempimenti dilazionato su un arco temporale massimo di 9 anni. Le strutture sanitarie che hanno scelto tale forma di dilazione per il loro adeguamento hanno però dovuto, come previsto dallo stesso decreto, sostenere importanti misure gestionali (come la creazione di squadre di emergenza dedicate), che però nel tempo si sono spesso dimostrate efficaci nel risolvere situazioni di emergenza. Maggiori dettagli di tale attività sono forniti nelle sezioni a seguire.

LE EMERGENZE ALL'INTERNO DI STRUTTURE SANITARIE IN CUI VI SIANO SORGENTI DI RADIAZIONI IONIZZANTI

L'insorgenza di un evento accidentale o doloso che possa comportare l'attuazione del piano di emergenza nella MN di una struttura ospedaliera si colloca nell'alveo di alcuni fondamentali riferimenti normativi:

- il d.lgs. 81/2008 che stabilisce la preparazione dei lavoratori finalizzata al contrasto di eventi incidentali, tra cui primo tra tutti e di riferimento il caso di un principio di incendio;

- i decreti e le norme antincendio che a prescindere dal caso specifico, e cioè dall'ambito di applicazione o dalla esigenza del progettista o del titolare dell'attività, contengono le misure gestionali da attuarsi in caso di incendio;
- il d.lgs. 101/2020, che recepisce la direttiva 2013/59/Euratom del 5 dicembre 2013 e che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, annoverando anche come pianificare e gestire una emergenza radiologica.

Prima di entrare nel merito delle singole norme, è importante notare che mentre il piano di emergenza cui si riferiscono i decreti antincendio e il d.lgs.81/2008 è il piano di emergenza interno (PEI) all'attività (e quindi volto alla mitigazione di danni a persone e beni situati all'interno dell'area interessata o della struttura) il piano cui si riferisce il d.lgs.101/2020 può essere sia un piano interno sia un piano esterno, quest'ultimo volto a proteggere anche la popolazione all'esterno del reparto e dell'edificio in cui questo è situato.

PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELLE EMERGENZE SECONDO IL D.LGS.101/2020

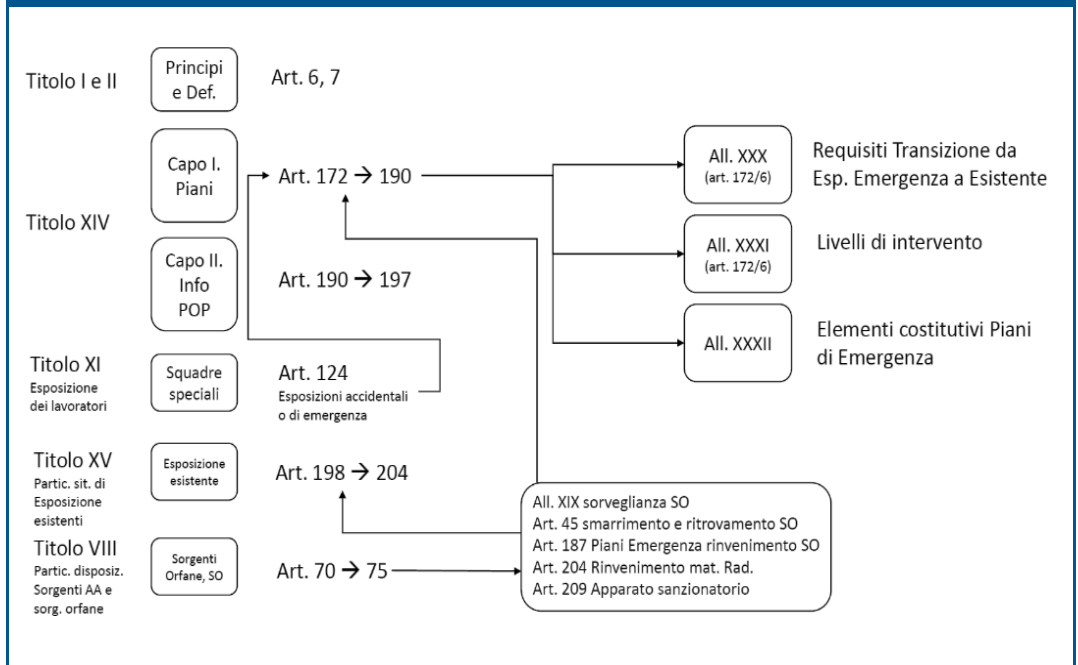
Tra le tante novità introdotte dal menzionato d.lgs.101/2020, che recepisce la direttiva 2013/59/Euratom del 5 dicembre 2013 e che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, si segnalano i seguenti elementi:

- introduzione di specifico Titolo dedicato alla preparazione e risposta alle emergenze (Titolo XIV);
- situazioni particolari di esposizioni esistenti;
- livelli di riferimento per individui ed ambiente;
- squadre speciali di intervento;
- nuovi valori di dose per i soccorritori;
- nuove disposizioni sulle sorgenti orfane.

In Figura 11 è riportato uno schema del d.lgs.101/2020 sulla preparazione e risposta alle emergenze.

Figura 11

Schema del d.lgs.101/2020 sulla preparazione e risposta alle emergenze



(Inail - Dipartimento di medicina, epidemiologia, igiene del lavoro e ambientale)

Il d.lgs. 101/2020 inoltre riporta alcune definizioni di interesse per i piani di emergenza:

- **Addetto all'emergenza**: 'qualsiasi persona investita di uno specifico ruolo nell'ambito di un'emergenza che potrebbe essere esposta a radiazioni nel corso di un intervento di emergenza'.
- **Emergenza**: 'una situazione o un evento imprevisto e imprevedibile implicante una sorgente di radiazioni che richiede un'azione tempestiva intesa a mitigare gravi conseguenze avverse per la salute e la sicurezza della popolazione, la qualità della vita, il patrimonio o l'ambiente, o un rischio che potrebbe dar luogo a tali conseguenze avverse'.
- **Esposizione accidentale**: 'esposizione di singole persone, a esclusione dei lavoratori addetti all'emergenza, a seguito di qualsiasi evento a carattere fortuito o involontario'.
- **Esposizione professionale di emergenza**: 'l'esposizione professionale verificatasi durante una situazione di emergenza di un addetto all'emergenza'.
- **Livello di riferimento**: 'in una situazione di esposizione di emergenza o in una situazione (da livello di azione) di esposizione esistente, il livello di dose efficace o di dose equivalente o la concentrazione di attività al di sopra del quale non è

appropriato consentire le esposizioni, derivanti dalle suddette situazioni di esposizione sebbene non rappresenti un limite di dose’.

- **Piano di emergenza:** ‘l’insieme di misure e procedure da attuare per affrontare una situazione di esposizione di emergenza sulla base di eventi ipotizzati e dei relativi scenari’.
- **Sistema di gestione delle emergenze:** ‘il quadro giuridico o amministrativo che definisce le responsabilità per la preparazione e la pianificazione della risposta alle emergenze e fissa le disposizioni per l’adozione di decisioni in una situazione di esposizione di emergenza’.
- **Vincolo di dose:** ‘vincolo fissato come margine superiore potenziale di una dose individuale, usato per definire la gamma di opzioni considerate nel processo di ottimizzazione per una data sorgente di radiazioni in una situazione di esposizione pianificata’.
- **Situazione di esposizione di emergenza (EM):** ‘una situazione di esposizione dovuta a un’emergenza’.
- **Situazione di esposizione esistente (ES):** ‘una situazione di esposizione che è già presente quando deve essere adottata una decisione sul controllo della stessa e per la quale non è necessaria o non è più necessaria l’adozione di misure urgenti’.
- **Situazione di esposizione pianificata (PP):** ‘una situazione di esposizione che si verifica per l’uso pianificato di una sorgente di radiazioni o risulta da un’attività umana che modifica le vie d’esposizione in modo da causare un’esposizione o un’esposizione potenziale della popolazione o dell’ambiente. Le situazioni di esposizione pianificata possono includere le esposizioni normali e quelle potenziali’.

Inoltre, il decreto definisce i concetti di pratica e intervento:

- **Pratica.** Attività umana che può aumentare l’esposizione di singole persone alle radiazioni provenienti da una sorgente di radiazioni ed è gestita come una situazione di esposizione pianificata.
- **Intervento.** Attività umana intesa a prevenire o diminuire l’esposizione degli individui alle radiazioni dalle sorgenti che non fanno parte di una pratica o che sono fuori controllo per effetto di un incidente, mediante azioni sulle sorgenti, sulle vie di esposizione e sugli individui.

PIANI DI EMERGENZA

In linea generale, nel caso di una struttura sanitaria dotata di una MN, e quindi per una attività soggetta ad autorizzazione tramite nulla osta, la redazione del piano interno d'emergenza deve essere corredata degli elementi di sicurezza previsti dal d.lgs. 81/2008 (Documenti di Valutazione dei Rischi, o DVR) e da quelli indicati nel

Codice di prevenzione incendi o da norme antecedenti. In questo caso il piano di emergenza interno, sempre obbligatorio e che si è tenuti a mostrare in caso di controllo, rimane un atto di natura interna ovvero non concertato con nessun soggetto esterno alla proprietà.

La risposta alle emergenze di tipo interno presuppone la presenza di personale formato e qualificato che da un lato sia in grado di rispondere con efficacia all'insorgere di un incendio ma che al tempo stesso sia qualificato e preparato a comprendere i rischi di tipo radiologico. Ne consegue che in tali strutture addetti antincendio e addetto all'emergenza (come da definizione del d.lgs. 101/2020) siano figure che debbano il più possibile collimare.

Dal punto di vista della radioprotezione, i piani di emergenza sono disciplinati al Titolo XIV - Capo I del d.lgs. 101/2020. Come anticipato, i soggetti richiedenti l'emanazione di provvedimenti autorizzativi provvedono a eseguire le valutazioni preventive della distribuzione delle materie radioattive rilasciate e delle esposizioni potenziali relative ai lavoratori e all'individuo rappresentativo della popolazione nei possibili casi di emergenza radiologica (art. 174, comma 1). Per quanto riguarda le installazioni soggette a nulla osta di categoria B, nel caso in cui tali valutazioni indichino per l'individuo rappresentativo della popolazione il superamento dei valori stabiliti con i provvedimenti di cui all'articolo 172, comma 7, le amministrazioni competenti al rilascio del provvedimento autorizzativo inseriscono apposite prescrizioni nel nulla osta e inviano copia del provvedimento, contestualmente alla sua emanazione, al Prefetto competente, al fine della predisposizione del piano di emergenza di cui all'articolo 175 (art. 174, comma 4). Per le installazioni soggette a nulla osta di categoria A è invece sempre prevista la redazione dei piani di emergenza (art. 174, comma 5).

ALLEGATO II

PIANO DI EMERGENZA IN CASO DI INCENDIO IN MEDICINA NUCLEARE

La possibilità del verificarsi di uno scenario incendio in una UO di MN rende necessaria la predisposizione di un piano di emergenza volto all'individuazione delle misure di gestione della stessa, prevedendo una serie di operazioni da svolgere per la diffusione dell'allarme, per il confinamento dell'emergenza, per la riduzione dell'impatto radiologico e per la gestione dell'evacuazione del personale interno ed esterno.

Il piano di emergenza descrive l'organizzazione delle strutture operative dell'installazione e l'insieme coordinato delle misure che devono essere intraprese in caso di incidente, identificando chiaramente i ruoli e le responsabilità di tutte le figure coinvolte. In particolare, deve essere realizzato tenendo in considerazione i rischi specifici dell'UO, la tipologia di luogo di lavoro, il volume di afflusso del personale esterno e il tempo minimo necessario per l'arrivo dei soccorsi esterni.

Il piano di emergenza ed evacuazione è un documento che integra il documento di valutazione del rischio e stabilisce le misure necessarie che i lavoratori devono mettere in atto per ridurre al minimo il rischio in caso di emergenza. È obbligatorio nei luoghi di lavoro in cui si svolgono attività soggette al controllo dei VVF ai sensi del d.p.r. 151/2011, come previsto dal d.m. 02/09/2021.

Considerato il patrimonio per lo più esistente delle strutture sanitarie italiane, il d.m. 19/03/2015 ha introdotto figure che intervengono in fase di emergenza, in particolare in caso di principio di incendio. Le figure introdotte dal d.m. 19/03/2015 sono di seguito riportate:

- **Responsabile tecnico** della sicurezza antincendio. Tale figura è individuata dal titolare della struttura, deve essere un tecnico in possesso di attestato di partecipazione ai corsi base di specializzazione previsti dal decreto del Ministro dell'interno 05/08/2011 e deve occuparsi della redazione del sistema di gestione della sicurezza.
- **Addetti di compartimento**. Tali figure devono assicurare il primo intervento e possono svolgere funzioni sanitarie.
- **Squadra antincendio**. Deve occuparsi dei controlli preventivi e dell'intervento in caso di incendio.

Di seguito si riporta un'ipotesi di gestione di primo intervento in uno scenario incendio che coinvolga un'UO di MN:

1. La vigilanza, allertata dalla segnalazione del principio di incendio da parte dell'impianto IRAI, allarma il personale della squadra antincendio.

2. Il personale antincendio, recatosi sul posto con gli adeguati DPI, confermerà l'emergenza alla vigilanza, la quale dovrà allarmare i VVF.
3. Nelle more dell'arrivo dei VVF la squadra antincendio provvederà a: i) evacuare eventuali utenti e personale presente; ii) spegnere il principio di incendio con i presidi a disposizione nell'UO, solo se quest'ultimo è di proporzioni molto ridotte e distante dalle aree in cui possono prodursi contaminazioni radioattive (informazione e formazione ERP). Nel caso in cui dovesse essere rilevato un possibile coinvolgimento di materiale radioattivo, la squadra antincendio dovrà interdire l'accesso al personale in attesa dell'arrivo dei vigili del fuoco.
4. L'ERP provvede a informare la squadra dei vigili del fuoco circa l'eventuale presenza di materiale radioattivo, la quantità e la tipologia dello stesso. Ad intervento concluso presenzierà agli eventuali rilievi radiometrici effettuati dalla squadra, anche nei giorni successivi all'incidente.

La redazione di un piano di emergenza ed evacuazione non è oggetto del presente lavoro e per una trattazione esaustiva si rimanda il lettore alle pubblicazioni di settore [Contessa, 2017].

ALLEGATO III

ANALISI QUALITATIVA DEL RISCHIO SISMICO IN EDIFICI CHE OSPITANO NELLE STRUTTURE SANITARIE REPARTI DI MEDICINA NUCLEARE³

A completamento di quanto introdotto in precedenza nel testo del presente documento, pur all'interno di una trattazione che risulterà evidentemente meno quantitativa e più qualitativa, vengono ora introdotti aspetti di valutazione espressamente dedicati al rischio da terremoto, che presenta – come ovvio – connotazioni del tutto peculiari, pur all'interno di un quadro probabilistico di accadimento chiaramente piuttosto sfumato.

IL RISCHIO SISMICO

Le grandi placche in cui è suddiviso lo strato più superficiale della Terra sono in continuo, lento movimento e le rocce che formano la crosta e il mantello superiore del pianeta subiscono continuamente spostamenti più o meno consistenti che possono comportare movimenti tellurici in superficie. Essi sono il frutto dei moti convettivi del mantello che spingono e trascinano le placche generando delle azioni denominate di 'sforzo' che sono massime in prossimità dei confini tra le placche, e minimi al loro interno, ovvero una conseguenza del continuo movimento delle placche, che avviene lentamente nel corso di milioni di anni e si manifesta come un rapido e violento scuotimento del terreno che si verifica in modo del tutto inaspettato e quasi impossibile da prevedere. L'Italia e, più in generale, tutto il mediterraneo, sono localizzati proprio ai confini tra le placche, ciò comportando una condizione di rischio geologico del quale certamente il lettore è a conoscenza.

LA NORMATIVA VIGENTE IN ITALIA SUL RISCHIO SISMICO

Nonostante i terremoti registrati sul territorio italiano, rispetto a quelli manifestati in altre zone del pianeta, spesso non sono avvenuti con altissimi livelli di intensità, le conseguenze sono state in alcuni casi molto rilevanti, radendo talvolta completamente a suolo gli edifici di interesse comunitario. Ciò è stato dovuto nella maggior parte dei casi alla presenza sul territorio di costruzioni realizzate con

³ Con il prezioso contributo dei colleghi esperti di radioprotezione Dott. Ing. Marco Martellucci e Dott. Silvio Valeri.

caratteristiche strutturali inadatte a contrastare il rischio sismico anche se di bassa intensità, in quanto prive di strutture portanti correttamente progettate, ovvero realizzate con criteri definiti in base ad una corretta valutazione del rischio sismico della zona interessata.

Per porre rimedio a tale situazione, negli anni la normativa antisismica in Italia ha subito diverse evoluzioni, nell'ottica di dettare regole per le nuove costruzioni e per le ristrutturazioni in base ad una puntuale classificazione sismica del territorio nazionale, basata sull'intensità e sulla frequenza dei terremoti registrati in passato. Le regole codificate prevedono l'applicazione di specifiche norme costruttive.

Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diverso grado di severità. Nel 2003, a seguito di approfonditi studi e valutazioni frutto della messa a punto di sistemi più evoluti di analisi della pericolosità sismica, sono stati emanati nuovi criteri di classificazione, basati sull'analisi della probabilità che il territorio possa essere interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. Tali criteri sono stati emanati con l'ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n. 3274 del 20/03/2003 e pubblicati sulla Gazzetta Ufficiale n. 105 dell'08/05/2003. Tale provvedimento, nel delegare alle regioni la classificazione sismica del territorio nazionale, ha dettato i principi generali per la classificazione dei comuni all'interno di quattro zone a pericolosità decrescente:

- **Zona 1** - Alta probabilità di terremoto a forte magnitudo.
- **Zona 2** - Possibilità di forti terremoti.
- **Zona 3** - Minore possibilità di forti terremoti rispetto alle zone precedenti.
- **Zona 4** - La probabilità che capiti un terremoto è molto bassa.

Con la nuova classificazione sparisce, rispetto al passato, il concetto di 'territorio non classificato' attraverso l'introduzione della zona 4, per la quale è data facoltà alle regioni di prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica nel rispetto di specifici criteri. Nel corso degli anni, le novità introdotte con l'ordinanza sono state pienamente recepite e ulteriormente affinate, garantendo la progettazione e realizzazione di costruzioni più sicure, attraverso l'adozione di tecnologie profondamente più efficienti dal punto di vista antisismico.

Nel rispetto degli indirizzi e dei criteri stabiliti a livello nazionale, alcune Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte, altre Regioni hanno invece deciso di classificare diversamente il proprio territorio, prevedendo solo tre zone ma introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità. Ad ogni zona o sottozona sono state attribuiti specifici parametri costruttivi da rispettare in fase di progettazione.

LA MISURAZIONE DELL'EVENTO SISMICO

Per misurare l'intensità di un terremoto sono oggi utilizzate due grandezze differenti: l'intensità macrosismica e la magnitudo. Si tratta di grandezze diverse, che fanno riferimento a parametri e aspetti diversi, pertanto non confrontabili.

L'intensità macrosismica è l'unità di misura degli effetti provocati da un terremoto e si esprime in gradi secondo quella che è conosciuta come la 'Scala Mercalli'. Essa viene attribuita in ciascun luogo in cui si è stato registrato un evento tellurico, dopo averne osservato gli effetti sull'uomo, sulle costruzioni e sull'ambiente.

La magnitudo invece è l'unità di misura che permette di esprimere l'energia rilasciata dal terremoto attraverso l'associazione di un preciso valore numerico, indicato all'interno di una scala logaritmica denominata 'Scala Richter'. La scala logaritmica comporta un carattere di crescita degli effetti molto rapida: ad esempio l'energia di un terremoto di magnitudo 6 è 30 volte più grande dell'energia di un terremoto di magnitudo 5 e 900 volte più grande della magnitudo 4. Il valore numerico della magnitudo viene calcolato attraverso l'elaborazione dei dati raccolti con il sismografo, lo strumento che permette di registrare le oscillazioni del terreno durante una scossa sismica anche a grandissima distanza dall'ipocentro dove ha avuto origine l'evento.

L'INDAGINE GEOLOGICA DELL'AREA DI INSTALLAZIONE

L'indagine geologica, che necessariamente oggi precede sempre le progettazioni antisismiche nella realizzazione di qualsivoglia edificio, consente di valutare come deve essere progettata correttamente la fondazione di un edificio, tenendo conto:

- della classificazione della zona interessata in merito al rischio sismico;
- della storicità degli eventi che hanno interessato il territorio;
- delle caratteristiche di composizione del terreno negli strati sottostanti l'area di realizzazione dell'opera;
- della possibile presenza in profondità o nelle vicinanze di eventuali elementi potenzialmente destabilizzanti quali il passaggio di falde acquifere, presenza di possibili vuoti o strati di terreno fragile.

Lo studio si rende necessario per verificare la fattibilità dell'opera nei confronti della geomorfologia locale del terreno e tiene conto dell'inquadramento geologico regionale, dei dati di letteratura tecnico scientifica a disposizione per l'area interessata e delle indagini eseguite sul luogo per valutare l'effettiva risposta sismica nell'area di futuro sedime dell'opera.

Le indagini sperimentali da effettuare sul luogo destinato ad ospitare l'installazione consentono di valutare con precisione le caratteristiche fisico-meccaniche del

suolo di fondazione, così come previsto dalla normativa di riferimento, e consistono in:

- prove penetrometriche dinamiche;
- indagini geofisiche;
- prove di laboratorio su campioni di terreno.

IL RISCHIO SISMICO IN UNA MEDICINA NUCLEARE

Gli eventi sismici degli ultimi vent'anni hanno mostrato come un terremoto che coinvolge una struttura ospedaliera possa avere gravi effetti sull'operatività della stessa, non soltanto a causa dei danni alle strutture, ma anche per effetto del danneggiamento delle parti non strutturali e/o delle attrezzature, rischiando di comprometterne la loro efficienza.

Nel caso in cui l'evento sismico coinvolga una struttura sanitaria che ospita un'UO di MN, l'organizzazione e gestione degli interventi risulta molto più complessa a causa della presenza di sorgenti radioattive, sigillate e non sigillate. Inoltre, nell'accezione più ampia del termine sorgente devono essere considerate sia le sorgenti di radiazioni da somministrare ai pazienti (es. radiofarmaci nei vial schermati o nelle siringhe), sia i pazienti trattati con il radiofarmaco.

In ragione di ciò, è lecito ritenere che i piani di emergenza interni delle strutture sanitarie dovrebbero prevedere non solo azioni di intervento comuni per tutti i reparti, ma anche procedure specifiche per gli ambienti di MN.

Ovviamente tali procedure dovrebbero essere redatte per lo specifico contesto emergenziale, al fine di ridurre il rischio per popolazione e soccorritori a un valore tanto più basso quanto ragionevolmente ottenibile, considerati anche i rischi collaterali (perdite di gas, rotture di tubazioni, cedimenti strutturali parziali/totali, ecc.), che, in alcune circostanze, possono rendere lo scenario di emergenza ulteriormente complesso nella sua gestione.

Al fine di dare maggiore evidenza a quanto sopra esposto, nel seguito si riporta un elenco delle sorgenti di rischio presenti all'interno di una MN per le quali, in caso di evento sismico, occorre preventivamente valutare la corretta gestione:

1. sorgenti non sigillate custodite dentro la cella di manipolazione o una cassaforte dedicata;
2. sorgenti non sigillate fuori dagli ambienti protetti;
3. sorgenti sigillate (es. taratura e calibrazione o sorgenti di brachiterapia);
4. pazienti somministrati (diagnostica e/o terapia);
5. deposito rifiuti e vasche di decadimento.

Ovviamente nel caso di evento sismico il coinvolgimento degli elementi sopra riportati può variare in funzione del momento della giornata e della gravità del

sisma, rendendo particolarmente complessa l'analisi e codifica di procedure di emergenza.

Per tale motivo, risulta necessario identificare tre possibili macro-scenari:

- **Caso 1**–sisma di bassa entità, danni lievi o nulli alle strutture;
- **Caso 2**–sisma di media entità, possibili danni alle strutture rilevanti;
- **Caso 3**–sisma di grave entità, crollo parziale o completo dell'edificio.

Nei paragrafi successivi verranno analizzati i tre casi, prevedendo il coinvolgimento delle sorgenti sopra elencate, al fine di un'analisi dei possibili rischi per popolazione, squadre di primo intervento e soccorritori.

ANALISI DEGLI SCENARI: CASO 1 – SISMA DI BASSA ENTITÀ, DANNI LIEVI O NULLI ALLE STRUTTURE

Sono raggruppati in tale scenario gli eventi che non apportano danni strutturali all'edificio. In tale circostanza le possibili situazioni comportanti rischi da radiazioni ionizzanti riguardano prevalentemente la gestione delle sorgenti (propriamente dette).

Sorgenti non sigillate custodite

In caso di lieve scossa di terremoto è plausibile considerare uno sversamento all'interno delle celle di manipolazione come un evento possibile, ma poco probabile. Inoltre, si ritiene utile precisare che in questi casi tale incidente raramente avviene come rovesciamento/caduta per le vibrazioni, ma bensì per errore umano.

In questo caso sarà sufficiente applicare le procedure di decontaminazione della cella di manipolazione per arginare l'evento.

In questo caso il rischio per la contaminazione interna è considerabile come nullo in quanto la cella è un sistema chiuso in forte depressione; pertanto, un'eventuale evaporazione del liquido rimarrebbe confinata all'interno della cella.

Tuttavia, particolare attenzione dovrà essere posta nelle fasi successive concernenti lo smaltimento dei filtri della cella nel caso in cui vi sia il sospetto di un'importante contaminazione con radionuclidi a medio/lunga emivita del sistema filtrante.

In merito alle sorgenti custodite nelle casseforti piombate, queste sono solitamente collocate all'interno di contenitori piombati con un peso nell'ordine di almeno 1 kg o superiore. Tenuto conto della massa del sistema vial/piombo risulta improbabile uno sversamento all'interno della cassaforte.

Sorgenti non sigillate fuori dagli ambienti protetti

Ricadono in questa casistica le sorgenti che nell'istante in cui si manifesta l'evento sismico sono detenute fuori dalla cella, ovvero:

- sorgenti in fase di trasporto dentro il porta-siringhe schermato o in fase di somministrazione;
- sorgenti poste nei sistemi di iniezione automatica e/o somministrate per infusione (es. lutezio-177).

Si precisa che in condizioni di lavoro normali, le norme di radioprotezione, unitamente alle norme di buona pratica e alle procedure di un'UO, impediscono che sorgenti non sigillate siano tenute libere senza schermatura o contenitore piombato fuori dalla cella.

Anche in questo caso l'evento di sversamento può essere dovuto ad errore umano, come ad esempio nella fase di trasporto della valigetta schermata con all'interno la siringa 'calda' qualora l'operatore lasci la presa sull'oggetto o la riponga in maniera precaria sulla prima superficie di appoggio, provocandone la caduta e lo spargimento. Tenuto conto che lo scenario sismico ipotizzato in questo caso ha una durata finita e non prevede danni strutturali importanti, lo sversamento avvenuto è assimilabile ad un incidente di contaminazione che normalmente gli ERP valutano nelle relazioni tecniche di nulla osta e/o nelle valutazioni del rischio specifico.

Nel dettaglio si ritiene che la sorgente possa provocare un rischio da:

- irraggiamento da sorgente estesa, sia alle mani nella fase di decontaminazione, sia al corpo;
- contaminazione superficiale se lo sversamento colpisce l'operatore.

Tali scenari incidentali, dopo l'evento sismico (isolato o sciame sismico), sono normalmente gestiti tramite le procedure interne codificate e presentano un rischio da inalazione e ingestione solitamente trascurabile, tenuto conto dei quantitativi di materiale radioattivo, dei tempi di decadimento e del sistema di areazione sempre presente e attivo e dei gradienti pressori in essere.

Sorgenti sigillate

Le sorgenti sigillate sono spesso custodite in ambienti schermati (celle o casseforti) e in molti casi hanno un contenitore piombato come custodia.

In tali circostanze si ritiene che le stesse non rappresentino un rischio elevato di irraggiamento nel caso in cui cadano o siano lasciate incustodite dal personale durante l'evento sismico.

Pazienti somministrati

I pazienti sottoposti ad indagine diagnostica in MN o radioterapia metabolica possono costituire potenziali sorgenti di rischio se non correttamente valutati anche in caso di evento sismico di bassa entità.

Difatti, in caso di terremoto il paziente caldo rappresenta una 'sorgente mobile' che, se non correttamente gestita, può causare l'esposizione delle persone del pubblico, di altri lavoratori non afferenti all'UO, nonché la contaminazione degli ambienti.

La gravità dell'evento dipende strettamente da:

- radionuclide somministrato. I radionuclidi di diagnostica per immagini difficilmente consentono il superamento dei limiti di dose alla popolazione per via delle basse emissioni. Differente è il discorso per i radiofarmaci più energetici (es. iodio-131 in terapia) dove concorre non solo il fattore dose, ma anche il fattore attività somministrata, che in alcuni protocolli clinici può essere anche dell'ordine della decina di GBq. In tal caso, un paziente appena somministrato potrebbe fornire un contributo di dose alla popolazione apprezzabile;
- quantità di pazienti somministrati contemporaneamente. Ogni paziente costituisce una fonte di radiazione a diversi 'livelli' di irraggiamento, in base al tempo trascorso dal momento della somministrazione.

Se l'evento sismico è di breve durata il personale sanitario dovrà attenersi al piano di emergenza interno che, solitamente, persegue l'obiettivo di assicurare il paziente al fine di garantire la sua massima collaborazione evitando incrementi di dose alla popolazione e ai lavoratori, oltre a possibili contaminazioni.

Se l'evento, seppur singolo, avesse una durata significativa oppure se ci si trovasse in presenza di uno sciame sismico nell'edificio potrebbero scattare le misure di evacuazione della struttura.

In tali situazioni il reparto deve attenersi al piano di evacuazione della struttura, che dovrà tener conto anche della presenza di pazienti somministrati non autonomi (es. pazienti non deambulanti).

Inoltre, a tal riguardo, i pazienti caldi dovranno essere condotti in un punto di raccolta esterno, identificato preliminarmente e tale da garantire la separazione, per quanto possibile dai pazienti afferenti ad altri reparti, riducendo al minimo il rischio di esposizione indebita di pazienti, lavoratori e popolazione.

La valutazione preliminare del percorso di uscita, del punto di ritrovo e della stima teorica della dose da irraggiamento in tali circostanze dovrebbe essere eseguita dall'ERP, con lo scopo di valutare quali altre misure precauzionali debbano essere adottate (es. gestione delle minzioni, degli allettati, ecc.). L'ERP è tenuto a interfacciarsi con l'RSPP per quelli che sono gli aspetti relativi ad una corretta individuazione dei percorsi, evacuazione dei locali, individuazione dei punti di raccolta.

Deposito rifiuti e vasche di decadimento

In caso di evento sismico, i liquidi presenti nelle vasche di decadimento possono indurre una sollecitazione strutturale al contenitore principale e ai sostegni. In tali casi possono verificarsi:

- tracimazioni delle vasche;
- rottura delle vasche.

In entrambi i casi i rischi associati sono i medesimi valutati per l'allagamento. Difatti, il contaminante riversato si distribuirà sulla superficie disponibile del locale vasche.

A tal riguardo un ruolo importante è rivestito dalla progettazione dei locali destinati alle vasche, come già descritto all'interno del capitolo dedicato all'allagamento, che dovrà prevedere la realizzazione di un muretto di contenimento, collocato all'ingresso della sala, con altezza minima dimensionata sulla base del volume delle vasche. Tale scelta costruttiva garantisce, in caso di tracimazione e rottura di 1-2 vasche (in base al dimensionamento del progetto iniziale), il confinamento dell'allagamento nel locale vasche.

Il rischio, in questo scenario, per l'operatore che accede al locale vasche è rappresentato da:

- irraggiamento esterno da esposizione a sorgente estesa;
- contaminazione interna dovuta all'evaporazione dell'acqua in funzione della temperatura presente.

Un fattore che può influenzare la dose da contaminazione è la presenza di ricambi d'aria nella stanza.

Ovviamente, qualora il locale dovesse presentare una scarsa o nulla ventilazione, potrà essere eseguita una stima della concentrazione di attività in aria nel caso di equilibrio dei vapori nella stanza. Anche per l'approfondimento di questo aspetto si rimanda al capitolo dedicato all'allagamento.

In entrambi i casi sopra descritti, per le valutazioni di esposizione si rimanda al capitolo dedicato alla situazione correlata ad un possibile evento di allagamento.

Preme comunque sottolineare che, in particolare nel caso della diagnostica per immagini, l'attività riversata, unitamente al basso tempo di dimezzamento della maggior parte dei radionuclidi, rende il rischio da irraggiamento piuttosto contenuto. Pertanto, in caso di accesso all'area di contenimento delle vasche saranno necessari DPI quali calzari o calzascarpe, come quelli normalmente utilizzati in caso di allagamento, e, eventualmente, protezioni per le vie aeree per gli eventuali vapori prodotti (se ritenuti opportuni in base alle valutazioni dell'ERP). In merito ai rifiuti radioattivi, in questo scenario non sono prevedibili eventi direttamente riconducibili al sisma che possano provocare un'esposizione non controllata.

Le uniche ipotesi che possono essere sviluppate riguardano gli eventi 'collaterali' ad un terremoto come, ad esempio, la rottura di una tubazione d'acqua o un incendio nei pressi di un locale di deposito rifiuti radioattivi. In tal caso le valutazioni di dispersione in aria/acqua sono sempre riconducibili allo scenario allagamento o incendio.

Si ritiene utile sottolineare l'importanza, in fase di progettazione, di prevedere la compartimentazione REI dei depositi radioattivi, al fine di arginare e ridurre questo tipo di rischio anche in caso di terremoto.

ANALISI DEGLI SCENARI: CASO 2 – SISMA DI MEDIA ENTITÀ, POSSIBILI DANNI ALLE STRUTTURE RILEVANTI

Sono raggruppati in tale scenario gli eventi che apportano danni strutturali all'edificio non gravi, ovvero senza cedimento completo, ma con possibile inagibilità parziale di alcune aree della struttura.

In tale circostanza aumenta sensibilmente l'importanza della codifica di procedure efficienti per la gestione e l'evacuazione dei pazienti somministrati.

Sorgenti non sigillate custodite

Nello scenario in cui vi possano essere eventi sismici significativi con danni significativi alla struttura, la gestione delle sorgenti presenti nelle celle di manipolazione o nelle casseforti assume un'importanza minore in quanto con molta probabilità la struttura dovrà essere evacuata.

Conseguentemente, il rischio rimane contenuto in un'area circoscritta e con molta probabilità all'interno dei sistemi schermati.

Sorgenti non sigillate fuori dagli ambienti protetti

Le problematiche e i rischi in cui è possibile incorrere sono sostanzialmente simili a quelli del Caso 1.

Tuttavia, risulta necessario evidenziare che nel caso in cui il sisma sia di proporzioni tali da generare danni strutturali si debba anteporre ad ogni altro aspetto la salvaguardia delle vite umane. Di conseguenza, in caso di sversamento accidentale di una sorgente per disattenzione, paura o semplicemente a seguito dell'evento stesso, potrebbe non risultare possibile l'applicazione nell'immediatezza della procedura di decontaminazione e segnalazione dell'avvenuta contaminazione. In questo scenario il personale deve, quindi, dedicarsi all'evacuazione dei pazienti, fornendo indicazioni verbali sul percorso da seguire o evitare e, se possibile, provvedere alla messa in sicurezza delle sorgenti.

Inoltre, qualora l'operatore fosse a conoscenza di possibili contaminazioni ambientali dovrà darne immediata comunicazione alle squadre di intervento.

(attraverso i canali previsti dalle procedure ospedaliere) segnalando per quanto possibile la tipologia di radionuclide interessato e l'attività in uso.

Quanto sopra si rende necessario al fine di garantire che l'eventuale accesso delle squadre di primo intervento della struttura e dei VVF avvenga in condizioni di sicurezza, e nel rispetto delle misure di radioprotezione necessarie a ridurre le dosi evitabili all'operatore, nonché diffusione di contaminazione al di fuori dell'UO.

Si sottolinea che negli ambienti di diagnostica per immagini tradizionali, lo sversamento di una 'dose', ovvero di una siringa con l'attività pronta per essere iniettata, difficilmente può determinare ratei di dose tali per cui si arrivi al superamento di 1 mSv. Potrebbero, invece, richiedere valutazioni aggiuntive i radionuclidi utilizzati in radioterapia metabolica.

In merito alla contaminazione delle vie aeree si rileva che, se l'impianto di ventilazione dovesse bloccarsi, dopo un periodo sufficientemente lungo la presenza di una sorgente riversata in terra potrebbe creare dei vapori con un lieve rischio da contaminazione interna. In questo caso si noti come l'entità del rischio (dose efficace impegnata per inalazione) è di fatto riconducibile al modello di calcolo valutato per l'allagamento.

Anche in questo scenario, si evidenzia un rischio, non secondario, da danni collaterali che si possono sviluppare in caso di terremoto (incendio e allagamento in primis).

Sorgenti sigillate

In questo scenario, le sorgenti sigillate rappresentano una fonte di rischio minore in quanto solitamente le stesse sono detenute presso il luogo di utilizzo previsto. Si pensi, ad esempio, alle sorgenti per il calibratore di dose detenute all'interno della cella di manipolazione, oppure le sorgenti per i controlli giornalieri PET custodite nei pressi della sala che ospita l'apparecchiatura.

Inoltre, si evidenzia che queste sorgenti non emettono ratei di dose estremamente alti. Pertanto, ai fini della gestione dell'evacuazione, nel caso di solo 'transito' (nelle vicinanze della sorgente), l'eventuale esposizione risulterebbe di modesta importanza.

Nel caso dei soccorritori interni alla struttura, sarebbe, invece, opportuno che fossero messi preventivamente a conoscenza delle sorgenti presenti, della loro collocazione all'interno dell'UO e delle procedure di emergenza codificate per il caso specifico dall'ERP.

Per questo motivo è importante che il responsabile dell'UO, o comunque la persona individuata da procedura interna per le emergenze, comunichi ai soccorritori l'eventuale possibilità che una di queste sorgenti non sia nel luogo di detenzione ordinaria (es. sisma avvenuto durante lo spostamento di una sorgente per utilizzo in locali esterni all'UO come il locale vasche).

Per quanto attiene invece alle squadre dei VVF le stesse – se debitamente informate in fase di allarme – dispongono di apposita strumentazione di misura

idonea alla rivelazione di eventuali sorgenti che fossero fuoriuscite dalla schermatura sigillata.

Pazienti somministrati

Come anticipato in precedenza, lo scenario in questione avrà come elemento critico la gestione dei pazienti durante l'evacuazione.

Analogamente a quanto esposto nel Caso 1, sarà compito di ogni struttura sanitaria prevedere l'evacuazione dei pazienti somministrati con apposita procedura dedicata. Nello specifico, si è accennato all'opportunità di prevedere per i pazienti caldi, ove praticabile, una via di fuga dedicata (tale evenienza sarebbe ipotizzabile solo se adeguatamente prevista in fase di progettazione dell'edificio), e quantomeno un punto di ritrovo separato da quello degli altri pazienti.

Difatti, l'emissione di dose da parte del paziente continuerà nel tempo in funzione delle caratteristiche del radiofarmaco somministrato con possibili contributi agli altri pazienti, ai lavoratori o alla popolazione.

Tale aspetto deve essere valutato con particolare attenzione nel caso di pazienti sottoposti a terapia con radionuclidi. A tal riguardo si noti come la differenza sostanziale sia rappresentata dal tipo di rischio associato, che può essere significativamente più elevato.

In primo luogo il rischio di irraggiamento può, per alcuni radionuclidi, essere consistente, per cui oltre a prevedere un punto di ritrovo esterno, deve essere correttamente gestita la permanenza dei pazienti caldi. In funzione degli ambienti e degli spazi disponibili si può, ad esempio, valutare l'allestimento di aree temporanee, dedicate all'accoglienza dei pazienti caldi, all'esterno o all'interno di edifici adiacenti non evacuati.

Alternativamente, se i ratei di emissioni sono stimabili come molto contenuti, si può prevedere, previo parere del medico nucleare (per gli aspetti clinici) e dell'ERP (per gli aspetti radioprotezionistici), il rilascio anticipato del paziente.

L'alternativa, di più difficile applicazione, ma da considerare in casi limite, consiste nel valutare il trasporto in altra struttura sul territorio che presenti stanze di degenza schermate e che comunque sia ad una distanza temporale accettabile in relazione alle condizioni del paziente e all'irradiazione degli operatori che provvederanno al trasporto.

In questo caso sarebbe opportuno prevedere una valutazione preventiva del rischio di esposizione, nonché la formazione del personale eventualmente deputato al trasporto, sui rischi associati quali la contaminazione da liquidi biologici, ecc.

In ultimo si ritiene opportuna anche una breve considerazione radioprotezionistica in relazione all'impossibilità per il paziente caldo, sia di diagnostica che terapia radiometabolica, di utilizzare - durante la fase emergenziale - il bagno caldo.

In prima approssimazione tale aspetto si ritiene di secondaria importanza rispetto alla situazione emergenziale. Difatti, si osservi che in questo scenario la struttura

non potrà effettuare più la pratica con somministrazione di radiofarmaci per un periodo di tempo variabile. Pertanto, anche in caso di un eventuale aumento dell'attività riversata dai pazienti della struttura ospedaliera in fogna direttamente, senza l'uso del bagno caldo, è verosimile ritenere che tale contributo – mediando su un anno solare – non comporti alcun aumento della dose all'individuo rappresentativo alla popolazione, in quanto viene compensato dall'assenza di attività riversata dalla struttura nei giorni/settimane a seguire.

Deposito rifiuti e vasche di decadimento

In questo scenario il rischio derivante dalle vasche di decadimento è quello della rottura di una o più vasche per il cedimento di elementi della struttura o degli arredi/impianti sui contenitori degli escreti, se presenti. Le considerazioni da applicare sono le medesime del Caso 1, ovvero la stima di dose può essere eseguita adoperando modelli simili a quelli dell'allagamento.

D'altro canto, in relazione alla gestione dei rifiuti solidi, non si rilevano particolari accorgimenti rispetto a quanto descritto nel Caso 1. Queste aree sono solitamente schermate e ben segnalate all'esterno.

Pertanto, anche in caso di un parziale cedimento strutturale non si dovrebbe produrre spargimento dei rifiuti negli ambienti circostanti dal momento che questi sono normalmente contenuti all'interno dei ROT. Inoltre, su di essi sono applicate le etichette di provenienza del rifiuto che li rendono facilmente riconoscibili.

Ovviamente nel caso di un parziale danneggiamento di uno dei ROT con riversamento del materiale in terra ne consegue un possibile fenomeno di irraggiamento seppure normalmente ritenuto di lieve entità in ragione dell'esigua attività normalmente contenuta nei ROT, e comunque normalmente oggetto di valutazione da parte dell'ERP.

Medesime considerazioni valgono per il rischio da contaminazione.

Anche in questo scenario il rischio maggiore proviene da incendi/allagamenti generati a seguito del terremoto a cui si rimanda per la trattazione esaustiva.

ANALISI DEGLI SCENARI: CASO 3 – SISMA DI GRAVE ENTITÀ, CROLLO PARZIALE O COMPLETO DELL'EDIFICIO

Il caso in esame rappresenta lo scenario più estremo e catastrofico in cui il personale afferente alla struttura sanitaria potrebbe non essere nelle condizioni di assicurare la corretta gestione in sicurezza durante il verificarsi dell'evento sismico, fino all'arrivo dei soccorritori.

In questo caso i rischi maggiori non derivano da problematiche di natura radioprotezionistica, quanto dai danni diretti e collaterali del terremoto, che non sono prevedibili a priori, e che possono avere effetti rilevanti sui pazienti, sui lavoratori e sulla popolazione.

Sorgenti non sigillate custodite

Supponendo il cedimento strutturale del solaio o delle pareti, potrebbe verificarsi un 'rovesciamento' della cella, ovvero la caduta in avanti o al piano sottostante per cedimento del solaio. Tenuto conto del peso di queste apparecchiature (diverse tonnellate) è poco probabile che la cella subisca un danneggiamento che perfori la sua struttura. Difatti, anche se il piombo non ha elevate caratteristiche di tenuta meccanica, né resistenza all'incendio per via del basso punto di fusione, lo stesso si trova ingabbiato all'interno di una superficie di acciaio, per cui è più probabile che la cella si modifichi strutturalmente mantenendo però la sua integrità o che si danneggi il vetro di protezione frontale.

Occorre sempre ricordare che le sorgenti all'interno della cella sono custodite in vial all'interno di contenitori piombati. Per cui, anche in caso di evento disastroso, il liquido potrebbe rimanere confinato nel proprio contenitore all'interno della cella.

Risulta, quindi, poco probabile un contributo significativo di dose riconducibile alla rottura della cella. Tuttavia, lo scenario cambia nel caso si sviluppi un incendio a seguito del terremoto. Il sistema della cella e della cassaforte (quest'ultima spesso non ignifuga) potrebbe non garantire una buona resistenza al fuoco con conseguente deformazione del piombo e trasmissione del calore (se non la fiamma stessa) all'interno della cella. Inoltre, nel caso in cui all'interno vi sia un importante sversamento è molto probabile che tutto il liquido possa essere coinvolto. Per tale scenario si rimanda alla trattazione del rischio incendio.

A tal riguardo si rileva come il contributo da inalazione all'individuo della popolazione e ancor prima ai soccorritori potrebbe essere trascurabile in quanto l'area potrebbe non essere più confinata e pertanto sarebbe garantita l'assenza di ristagno dell'aria.

La componente da irraggiamento, tenuto conto che con elevata probabilità il contaminante sia rimasto all'interno delle schermature, potrebbe risultare ancora trascurabile.

Sotto queste considerazioni è possibile prevedere come buona norma l'esecuzione delle valutazioni teoriche di rateo di dose in funzione delle attività potenzialmente presenti, al fine di valutare non tanto la dose alla popolazione quanto la dose ai soccorritori che accedono all'area.

Tuttavia, resta inteso che le squadre dei VVF dopo aver accertato la presenza di un'UO di MN nell'area potenzialmente interessata, è bene che accedano con un rilevatore di radiazioni possibilmente con dispositivo acustico che avvisi immediatamente il soccorritore della presenza di un rateo di dose significativo.

Come vedremo nei paragrafi a seguire, tale aspetto è importante al fine di valutare correttamente anche l'eventuale presenza di un paziente somministrato.

Sorgenti non sigillate fuori dagli ambienti protetti

Questo scenario, rispetto al precedente, presenta rischi minori. Infatti, l'attività riversata in una contaminazione generata durante lo spostamento del farmaco o durante la preparazione della sorgente è di entità minore rispetto all'attività in cella.

Nell'ipotesi in cui tale contaminazione venga rilevata sulle macerie si può decidere se circoscrivere l'area oppure accatastare il materiale potenzialmente contaminato in una zona delineata in attesa del decadimento.

In caso contrario, ovvero che la contaminazione non venga rilevata, si potrebbe eseguire una valutazione sulla singola sorgente (es. attività da somministrare al paziente) per definire se esiste la concreta possibilità che vengano raggiunti valori di dose efficace rilevanti.

Sorgenti sigillate

Le sorgenti sigillate, in quanto tali, rappresentano un rischio minore da gestire rispetto a tutti i rischi presenti in questo scenario, ma leggermente superiore rispetto agli altri scenari.

Se la sorgente dovesse venire individuata, la stessa può semplicemente essere isolata in un'area di deposito temporaneo esterno al fine di contenere i rischi alla popolazione.

Fa eccezione solamente il caso in cui la sorgente contenga una componente liquida e la stessa rimanga schiacciata dal peso delle macerie. Infatti, alcune di queste sorgenti contengono radionuclidi molto 'radiotossici' che se ingeriti o inalati potrebbero generare dosi importanti ai soccorritori, in particolare se uniti a fenomeni di allagamento (es. pioggia o infiltrazioni) o incendi secondari.

Pazienti somministrati

La gestione del paziente somministrato ha due aspetti fondamentali di cui tenere conto.

In primo luogo si può verificare la situazione in cui un paziente rimanga bloccato sotto le macerie. Tenuto conto della situazione in cui si opera, ovvero di un evento sismico grave, potrebbe essere estremamente difficoltoso discriminare il paziente, tranne nel caso in cui il soccorritore sia in possesso di un dosimetro personale attivo o sia disponibile nelle vicinanze un dosimetro ambientale attivo.

Nel caso in cui il paziente non venga individuato, è possibile eseguire successivamente una valutazione della dose presunta da irraggiamento agli operatori che prestano il primo soccorso, nonché di rischio contaminazione in caso di contatto da liquidi biologici. Si ritiene, comunque, che difficilmente la non corretta gestione di un paziente possa generare dosi elevate.

Viceversa, nel caso in cui il paziente possa essere chiaramente identificato come somministrato allora si potrebbe definire una zona di gestione immediata del paziente per il primo soccorso, possibilmente separata da quella degli altri

pazienti, almeno in termini di minima distanza (possibilmente oltre i 3 metri) fornendo indicazioni rapide ai lavoratori di indossare DPI base quali guanti, camice monouso e mascherina. Se il paziente non è in pericolo di vita è possibile valutarne il rilascio anticipato sulla base di un criterio definibile per questa fase.

Quanto detto si applica ancor più nel caso di pazienti somministrati con radionuclidi a lunga emivita o sottoposti a terapia radiometabolica.

Nello scenario considerato occorre, inoltre, prevedere anche il caso di rinvenimento del corpo deceduto di un paziente caldo.

Se tale evenienza dovesse presentarsi quale possibile sarebbe opportuno prevedere la corretta procedura di gestione della salma radioattiva. In questo caso la problematica radioprotezionistica deve essere gestita tenendo conto che l'attività contenuta nel corpo andrà a decadere sia per decadimento fisico, sia biologico a seguito del rilascio di liquidi biologici. Pertanto, ne consegue che l'irraggiamento sia al soccorritore che al personale che si occuperà della ricomposizione della salma potrebbe essere sensibilmente maggiore.

Deposito rifiuti e vasche di decadimento

I rischi sono assimilabili a quelli del Caso 2.

Conseguentemente tutte le stime sono rimandabili o comunque riconducibili ai modelli di calcolo degli scenari di allagamento per la rottura delle vasche e per il deposito rifiuti (es. infiltrazioni di pioggia nelle macerie) e incendio (danni collaterali del terremoto).

TABELLA DEI GRADI DI RISCHI

Nella Tabella 15 si propone una breve disamina del grado di importanza dei vari elementi di rischio che possono presentarsi durante lo scenario del terremoto, sulla base di quanto sopra descritto.

Nel dettaglio, si riporta una stima del rischio (R) come prodotto della probabilità (P) per il danno (D) secondo la formula $R = P \cdot D$, basandosi sui seguenti criteri:

- **probabilità di accadimento:** probabilità di coinvolgimento della sorgente. Può assumere valori da 1 (scarsamente probabile se non nullo) a 5 (evento certo);
- **danno:** esposizione dei soccorritori e della popolazione. Può assumere valori da 1 (valore di dose dovuta all'incidente non rilevante per la popolazione) a 5 (dosi elevatissime con grave rischio per la popolazione).

Inoltre, è stato distinto il rischio proveniente da radiazioni ionizzanti ('Rad') inteso come esposizione da irraggiamento, contaminazione e inalazione per un'esposizione diretta alla sorgente, dal rischio proveniente dall'insorgere di danni collaterali al terremoto ('Coll').

Tabella 15

Proposta di analisi del rischio da terremoto

Scenario	Caso 1 Sisma di bassa entità				Caso 2 Sisma di media entità				Caso 3 Sisma di grave entità			
Tipo di danno alle strutture	Danni lievi o nulli				Possibili danni rilevanti				Crollo parziale o completo			
Parametri	Tipo	P	D	R	Tipo	P	D	R	Tipo	P	D	R
Sorgenti non sigillate custodite	Rad	1	1	1	Rad	1	2	2	Rad	1	2	2
	Coll	1	1	1	Coll	1	2	2	Coll	3	4	12
Sorgenti non sigillate incustodite	Rad	2	2	4	Rad	2	3	6	Rad	2	3	6
	Coll	2	2	4	Coll	2	4	8	Coll	2	4	8
Sorgenti sigillate	Rad	1	1	1	Rad	1	1	1	Rad	1	1	1
	Coll	1	1	1	Coll	2	2	4	Coll	2	2	4
Pazienti sommministrati	Rad	2	2	4	Rad	3		9	Rad	4	3	12
	Coll	2	2	4	Coll	3	3	9	Coll	4	3	12
Deposito rifiuti vasche reflui	Rad	1	1	1	Rad	2	2	4	Rad	3	3	9
	Coll	2	2	4	Coll	3	2	6	Coll	3	3	9

SUGGERIMENTI SUI PIANI DI EMERGENZA ESTERNI

Dall'analisi condotta sui possibili scenari di rischio sono emersi alcuni aspetti radioprotezionistici che dovrebbero essere integrati all'interno delle procedure adottate nei piani di emergenza interni. Tutto ciò nello spirito di ottimizzare la radioprotezione, tenendo presente che le procedure dovranno essere applicate in scenari la cui gravità e conseguenze non possono essere previste a priori. Ciò implica che tutte le operazioni da svolgere devono essere attuate al termine dell'intervento e mirate sempre alla salvaguarda della salute del lavoratore e del paziente, in attesa dell'arrivo dei soccorritori.

Pertanto, tutte le strutture sanitarie dovrebbero essere munite di un piano di emergenza interno che affronti il rischio terremoto al pari degli altri rischi oggetto di valutazione nel presente lavoro. Tale piano dovrebbe quindi tenere conto delle procedure da adottare per la corretta gestione dell'evento, sia dal punto di vista di sicurezza personale che dell'interazione col paziente. Ovviamente, la stesura di dette procedure deve essere tale per cui le stesse risultino di facile e immediata attuazione tenuto conto anche della concitazione che sarà naturale avere a seguito dell'evento, al fine di garantire per quanto possibile una riduzione della dose alla popolazione, ai lavoratori e ai soccorritori in caso di evento tellurico.

In particolare, per quanto concerne le sorgenti non sigillate potrebbe rappresentare un elemento di ottimizzazione la formazione del lavoratore nell'applicazione di azioni volte a garantire la messa in sicurezza delle stesse. Tale operazione può consistere nei casi meno gravi nel riporre il radioattivo nella cella o nella cassaforte (lì dove presente), oppure, negli scenari più complessi, nel posizionare la sorgente, quando possibile e nella tutela della sicurezza del paziente e dell'operatore, all'interno del suo contenitore piombato.

Per quanto attiene alle procedure di evacuazione della struttura va invece sottolineato come sia opportuno effettuare una distinzione da applicare in base all'entità evento.

Nel caso di evacuazione parziale, ovvero dell'evacuazione dell'UO di MN e non dell'edificio, risulta ottimale prevedere l'individuazione di alcune stanze nella struttura - possibilmente con pareti in calcestruzzo - da destinarsi ad uso esclusivo dei pazienti caldi.

D'altro canto, la struttura sanitaria potrebbe valutare con il coinvolgimento dell'ERP i criteri di rilascio dei pazienti autonomi e deambulanti (es. basato sul tempo decorso dalla somministrazione o sul rateo) diversi da quelli per i pazienti che non lo sono, al fine di permetterne l'allontanamento dall'area di rischio.

Nel caso di evacuazione totale, invece, dovrebbe essere previsto un punto di raduno per la gestione dei pazienti somministrati diverso da quello per i pazienti freddi. Il punto di raduno può essere esterno o in altro edificio limitrofo non evacuato e non collabente - possibilmente con pareti in calcestruzzo - valutato idoneo dai VVF.

Per queste aree di raduno non sono richiesti specifici requisiti se non la necessità di provare a sfruttare il fattore distanza (in termini di pochi metri) per ridurre e contenere la dose da irraggiamento nel caso in cui si presuma che il paziente debba rimanere per un tempo maggiore del preventivato, come nel caso in cui abbia riportato lesioni o il suo quadro clinico sia tale per cui si torvi in condizioni critiche.

Ovviamente le procedure interne alla struttura devono prevedere che il personale presente informi i soccorritori in merito al fatto che i pazienti presenti sono somministrati, al fine di gestire correttamente la contaminazione e ridurre le dosi evitabili (mandatori guanti a perdere o doppi guanti, camici monouso, protezione per alcuni strumenti nei limiti dell'applicabilità).

Dopo l'evento sismico, come ad esempio nella fase di un eventuale sopralluogo dei servizi tecnici per supervisionare i reparti più colpiti, o da parte dei soccorritori (in base alla gravità dello scenario), potrebbero essere fornite indicazioni volte a garantire l'ottimizzazione e la limitazione delle dosi agli operatori.

Si ritiene, quindi, utile l'individuazione di una figura incaricata alla comunicazione con i soccorritori nelle fasi di emergenza, afferente all'UO di MN.

Tale richiesta risulta rilevante in quanto l'attività presente nell'UO, la posizione delle sorgenti sigillate e il numero di pazienti sono dati in possesso unicamente del

personale afferente all'unità operativa. Inoltre, tale figura potrebbe coadiuvare i soccorritori nell'individuazione del numero di pazienti mancanti o nel ritrovamento di eventuali sorgenti detenute in luoghi diversi da quelli attesi (siringa nella valigetta porta paziente in somministrazione, sversamento a terra con contaminazione, sorgente sigillata lontana dal luogo di detenzione ordinario). Andrebbe, inoltre, raccomandato l'utilizzo di dispositivi attivi per la rivelazione delle radiazioni a tutti coloro che effettueranno una prima ricognizione all'interno dell'UO.

Infine, si evidenzia la necessità di prevedere l'individuazione di aree dedicate per gestire l'eventuale produzione di macerie contaminate con sorgenti non sigillate, nonché la gestione dell'eventuale salma radioattiva nella prima fase dell'emergenza.

Inail - Direzione centrale pianificazione e comunicazione

Piazzale Giulio Pastore, 6 - 00144 Roma
dcpianificazione-comunicazione@inail.it

www.inail.it

ISBN 978-88-7484-849-2