

Giuseppe De Luca

Incidente radiologico: contromisure di sanità pubblica

ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

RIASSUNTO. Tra gli obiettivi della risposta in emergenza nucleare/radiologica ve ne sono diversi che hanno attinenze di carattere sanitario, tra questi: Salvare vite umane; Evitare/minimizzare gravi effetti deterministici; Garantire il primo soccorso, le prime cure mediche e i trattamenti per le situazioni critiche che mettono in pericolo la vita, gestire il trattamento sanitario delle lesioni da radiazioni; Ridurre il rischio (la probabilità) di effetti stocastici.

Nella Fase di risposta urgente, che va dall'individuazione delle condizioni che necessitano azioni di emergenza da attuare rapidamente alla completa attuazione di tutte queste azioni e può durare ore o giorni, trovano applicazione le azioni di attenuazione da parte dell'operatore e le azioni protettive urgenti. Nella Fase di risposta precoce (early), che inizia quando la situazione radiologica è ben caratterizzata e può durare giorni/settimane, trovano applicazione le azioni protettive precoci.

Un'Azione protettiva urgente è quella che deve essere messa in atto rapidamente (entro poche ore, giorni) per essere efficace e la cui efficacia è grandemente ridotta dal ritardo (es.: ITB - Iodine Thyroid Blocking, evacuazione, riparo al chiuso, decontaminazione delle persone, prevenzione del consumo di alimenti, acqua contaminati). Un'azione protettiva urgente si definisce precauzionale se viene adottata prima o immediatamente all'inizio del rilascio radioattivo sulla base delle condizioni del momento al fine di evitare o minimizzare gravi effetti deterministici.

Un'Azione protettiva precoce (early) è quella che può essere messa in atto entro giorni o settimane (es.: relocation; restrizione del consumo di alimenti potenzialmente contaminati).

Nell'implementazione delle azioni tecniche di attenuazione sull'impianto non va assolutamente trascurata la protezione dei lavoratori in emergenza. Sono stati definiti "Valori guida" per limitare l'esposizione dei lavoratori in emergenza il più importante dei quali è il valore guida di 500 mSv (Dose equivalente/efficace) che non dovrebbe essere superato per i lavoratori incaricati di mettere in opera azioni per prevenire effetti deterministici gravi e lo sviluppo di condizioni catastrofiche. Le azioni protettive urgenti, precoci, le azioni di attenuazione e le altre azioni devono far parte di una complessiva strategia di protezione basata, tra l'altro sulla definizione di un livello di riferimento in termini di dose residua, tipicamente nel range 20-100 mSv di dose efficace acuta o annuale, comprendente dosi per tutte le vie di esposizione oltre che sulla definizione - sulla base dei risultati della giustificazione ed ottimizzazione delle strategie di risposta - di criteri generici in termini di dose assorbita o proiettata superati i quali vanno implementate azioni protettive o altre azioni di risposta per evitare/mitigare gli effetti deterministici gravi e ridurre il rischio di effetti stocastici.

Sono stati definiti e sono riportati in Pubblicazioni IAEA i Criteri generici per dosi ricevute in periodo di tempo più

Premessa - Obiettivi della risposta in emergenza

Quando presso un impianto nucleare, un'attività a rischio radiologico, una sorgente di radiazioni, si determinano condizioni che indicano un'emergenza nucleare/radiologica potenziale o effettiva, deve essere prevista una risposta in emergenza i cui principali obiettivi possono essere così riassunti:

- Recuperare il controllo della situazione e limitarne le conseguenze negative.
- Salvare vite umane.
- Evitare/minimizzare gravi effetti deterministici.
- Garantire il primo soccorso, le prime cure mediche e i trattamenti per le situazioni critiche che mettono in pericolo la vita, gestire il trattamento sanitario delle lesioni da radiazioni.
- Ridurre il rischio (la probabilità) di effetti stocastici.
- Garantire l'informazione della popolazione e mantenere la fiducia nelle azioni intraprese.
- Minimizzare quanto più possibile le conseguenze non radiologiche.
- Proteggere quanto meglio possibile la proprietà privata e l'ambiente.
- Prepararsi per la ripresa delle normali attività sociali ed economiche.

Diversi di questi obiettivi hanno attinenze di carattere sanitario e richiedono l'attuazione di contromisure che a pieno titolo possono essere considerate contromisure di sanità pubblica.

Fasi della risposta in emergenza

Nella risposta in emergenza si possono distinguere due fasi:

1. Fase di risposta urgente: dall'individuazione delle condizioni che necessitano azioni di emergenza da attuare rapidamente alla completa attuazione di tutte queste azioni (azioni di attenuazione da parte dell'operatore; azioni protettive urgenti). Può durare ore o giorni.
2. Fase di risposta precoce (early): da quando la situazione radiologica è già sufficientemente ben caratterizzata in modo da valutare la necessità di attuare azioni protettive precoci e/o provvedere all'attuazione completa delle stesse. Dura giorni - settimane.

Si è parlato di azioni di attenuazione e di azioni protettive urgenti o precoci, vediamo di cosa si tratta: le

o meno brevi per cui siano previste azioni protettive o altre contromisure al fine di evitare o limitare gravi effetti deterministici ovvero per ridurre la probabilità di effetti stocastici.

Da questi set di criteri generici vanno ricavati limiti (o criteri) operativi di intervento (Operational Intervention Levels - OIL) per dare inizio alle differenti parti della pianificazione di emergenza e per intraprendere azioni protettive ed altre azioni.

Parole chiave: emergenza nucleare o radiologica, azioni protettive urgenti, azioni protettive precoci, blocco tiroideo con iodio stabile.

ABSTRACT. *Several measures in a response to a nuclear or radiological emergency have in common the aim of protecting human life and health, among these: to save lives; to avoid or to minimize severe deterministic effects; to provide first aid, critical medical treatment and to manage the treatment of radiation injuries; to reduce the risk of stochastic effects.*

In the phase of the urgent response (the first hours or few days from the declaration of the emergency) mitigatory actions have to be taken by the operating personnel of a nuclear facility to prevent the escalation of the emergency and mitigate the consequences of radioactive releases and exposure; along with these, urgent protective actions have to be implemented.

Examples of urgent protective actions are: sheltering, evacuation of people residing near the plant and iodine thyroid blocking (ITB): these actions can be also precautionary if taken before or immediately after the beginning of the radioactive release.

In the second phase of the emergency (the early response phase) which can last days or weeks, early protective actions, like relocation, restrictions on the food chain and on water supply etc., should be taken.

The mitigatory and protective actions should be part of a general protective strategy of the population, based on generic criteria and generic guidance values for restricting exposure of the emergency workers and of the general population.

Key words: nuclear or radiological emergency, urgent protective actions, early protective actions, Iodine thyroid blocking.

Azioni di attenuazione sono interventi tecnici o tecnico-organizzativi in genere messi in atto da parte dell'operatore dell'impianto per ridurre la possibilità di evoluzione peggiorativa dell'incidente con il possibile risultato di una situazione di emergenza.

Le Azioni protettive hanno l'obiettivo di evitare o ridurre le dosi di radiazioni che altrimenti potrebbero essere ricevute in una situazione di esposizione di emergenza o in una situazione di esposizione esistente, esse possono essere distinte in:

1. Azioni protettive urgenti che devono essere messe in atto rapidamente (entro poche ore, giorni) per essere efficaci e la cui efficacia è grandemente ridotta dal ritardo (es.: Iodine Thyroid Blocking (Blocco tiroideo con

iodio stabile - ITB), evacuazione, riparo al chiuso, decontaminazione delle persone, prevenzione del consumo di alimenti, acqua contaminati). Un'azione protettiva urgente può anche essere precauzionale se viene adottata prima o immediatamente all'inizio del rilascio radioattivo sulla base delle condizioni del momento al fine di evitare o minimizzare gravi effetti deterministici.

2. Azioni protettive precoci (*early*) che possono invece essere messe in atto entro giorni o settimane (es.: relocation; restrizione del consumo di alimenti potenzialmente contaminati).

Tra le altre azioni di risposta: le più comuni sono controlli medici (visite) e terapie; registrazione e follow-up a medio-lungo termine; counselling psicologico; informazione alla popolazione, ecc.

Protezione dei lavoratori in emergenza

Nell'attuazione delle azioni di attenuazione che, come detto, sono interventi tecnici o tecnico-organizzativi in genere messi in atto tempestivamente da parte dell'operatore dell'impianto al fine di evitare un'evoluzione peggiorativa dell'incidente, non va assolutamente trascurata la protezione dei lavoratori in emergenza.

Nella Tabella I, tratta da IAEA GSR Part 7 - 2015 vengono riportati i Valori guida per limitare l'esposizione dei lavoratori in emergenza.

Strategia complessiva di protezione

Le azioni protettive urgenti e precoci, le azioni di attenuazione e tutte le altre azioni di risposta devono far parte di una complessiva strategia di protezione basata, tra l'altro, sulla:

- definizione di un livello di riferimento in termini di dose residua, tipicamente nel range 20-100 mSv di dose efficace acuta o annuale, comprendente dosi per tutte le vie di esposizione;
- definizione – sulla base dei risultati della giustificazione ed ottimizzazione delle strategie di risposta – di criteri generici in termini di dose assorbita o proiettata, superati i quali vanno implementate azioni protettive o altre azioni di risposta per evitare/mitigare gli effetti deterministici gravi e ridurre il rischio di effetti stocastici.

Nelle tabelle seguenti, tratte da IAEA GSR Part 7 - 2015 vengono riportati i criteri generici definiti da IAEA per la messa in atto di azioni protettive ed altre azioni al

Tabella I. Valori guida per limitare l'esposizione dei lavoratori in emergenza (IAEA GSR Part 7 - 2015)

Azioni per prevenire effetti deterministici gravi e lo sviluppo di condizioni catastrofiche	< 500 mSv
Azioni salvavita	I valori guida di 500 mSv (Dose equivalente/ efficace) possono essere superati in condizioni per le quali i benefici attesi (in termini ad es. di salvezza di vite umane o prevenzione di evoluzione catastrofica degli eventi) siano chiaramente maggiori dei rischi sanitari personali (i volontari devono essere informati e esprimere il loro consenso)
Azioni per evitare un'elevata dose collettiva	< 100 mSv

fine di evitare o minimizzare gli effetti deterministici gravi e ridurre il rischio di effetti stocastici. In particolare, nella Tabella II vengono riportati i Criteri generici per dosi ri-

cevute in un breve periodo di tempo per cui siano sempre previste azioni protettive o altre contromisure al fine di evitare o limitare gravi EFFETTI DETERMINISTICI.

Tabella II. Criteri generici per dosi ricevute in un breve periodo di tempo per cui siano sempre previste azioni protettive o altre contromisure al fine di evitare o limitare gravi EFFETTI DETERMINISTICI (IAEA GSR Part 7 - 2015)

Dose assorbita al midollo	1 Gy
Dose assorbita al feto	0,1 Gy
Dose assorbita al tessuto (Dose rilasciata a 100 cm ² di tessuto alla profondità di 0,5 cm sotto la superficie corporea a seguito del contatto diretto con una sorgente radioattiva ad es. tenuta in mano o in tasca)	25 Gy a 0,5 cm
Dose assorbita alla pelle (Dose a 100 cm ² di derma ad una profondità di 0,4 mm sotto la superficie cutanea)	10 Gy in 100 cm ²

N.B.: Se la dose è proiettata (Dose proiettata: dose assorbita ricevuta da un individuo della popolazione su un intervallo di tempo dall'inizio dell'incidente, da tutte le vie di esposizione, quando non vengono adottati interventi):

- Azioni protettive urgenti devono essere adottate immediatamente al fine di mantenere le dosi al di sotto dei livelli indicati nei criteri generali
- Fornire informazioni e comunicazioni di allarme alla popolazione
- Provvedere urgentemente alla decontaminazione

Tabella III. Criteri generici per dosi ricevute in un breve periodo di tempo per cui siano sempre previste azioni protettive o altre contromisure al fine di evitare o limitare gravi EFFETTI DETERMINISTICI in caso di esposizione interna "acuta" (< 30 gg) (IAEA GSR Part 7 - 2015)

Dose assorbita al midollo	0,2 Gy per Z ≥ 90 2 Gy per Z ≤ 89
Dose assorbita alla tiroide	2 Gy
Dose assorbita al polmone	30 Gy
Dose assorbita al colon	20 Gy
Dose assorbita al feto (per questo caso particolare l'intervallo di riferimento corrisponde all'intero periodo di sviluppo intrauterino dell'embrione e del feto)	0,1 Gy

Se la dose è stata ricevuta:

- Immediata visita medica e terapia, se indicata
- Monitoraggio della contaminazione e terapia decontaminante se applicabile
- Registrazione per follow up
- Counselling psicologico

Tabella IV. Criteri generici per azioni protettive o altre contromisure al fine di ridurre il rischio di EFFETTI STOCASTICI (IAEA GSR Part 7 - 2015)

Dose proiettata eccedente i criteri seguenti: Adottare **azioni protettive urgenti** o altre contromisure

Dose equivalente alla tiroide	50 mSv nei primi 7 gg	ITB
Dose efficace	100 mSv nei primi 7 gg	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Riparo al chiuso ✓ Evacuazione ✓ Prevenzione dell'ingestione di cibi e acqua contaminati ✓ Controllo della contaminazione ✓ Decontaminazione ✓ Registrazione ✓ Counselling
Dose equivalente al feto	100 mSv nei primi 7 gg	v.s.

Tabella V. Criteri generici per azioni protettive o altre contromisure al fine di ridurre il rischio di EFFETTI STOCASTICI (IAEA GSR Part 7 - 2015)

Dose proiettata eccedente i criteri seguenti: Adottare **azioni protettive precoci** o altre contromisure

Dose efficace	100 mSv nel primo anno	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Temporary relocation ✓ Prevenzione dell'ingestione di cibi e acqua contaminati ✓ Controllo della contaminazione ✓ Decontaminazione ✓ Registrazione ✓ Counselling
Dose equivalente al feto	100 mSv per tutto il periodo dello sviluppo intrauterino	v.s.

Tabella VI. Criteri generici per azioni protettive o altre contromisure al fine di ridurre il rischio di EFFETTI STOCASTICI (IAEA GSR Part 7 - 2015)

Dose ricevuta eccedente i criteri seguenti: **Adottare misure sanitarie a lungo termine** per individuare e trattare eventuali danni sanitari radioindotti

Dose efficace	100 mSv in un mese	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Screening sanitario basato sulle dosi equivalenti ricevute dai singoli organi (come base per un successivo follow up a lungo termine) ✓ Registrazione ✓ Counselling
Dose equivalente al feto	100 mSv per tutto il periodo dello sviluppo intrauterino	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Counselling individuale

Definizione di limiti operativi di intervento (OIL)

Una volta che una strategia di protezione sia stata giustificata ed ottimizzata e che sia stato sviluppato un set di criteri generici per la messa in atto di azioni protettive ed altre contromisure, il passo successivo è ricavare da questi criteri dei livelli (o criteri) operativi di intervento (Operational Intervention Levels - OIL) per dare inizio alle differenti parti della pianificazione di emergenza e per intraprendere azioni protettive ed altre azioni.

I criteri generici infatti non possono essere utilizzati in quanto non sono direttamente misurabili e non permettono quindi di prendere decisioni rapide durante un'emergenza; i livelli (o criteri) operativi di intervento (OIL) indicano invece un livello di azione da poter usare immediatamente e direttamente (senza ulteriori valutazioni) per decidere l'implementazione di appropriate azioni protettive basate su misure ambientali. Essi possono quindi essere usati come strumento pratico per mettere in atto decisioni operative basandosi su dati ambientali disponibili (ad es.: misure di rateo di dose in aria (microSv/h), di attività depositata al suolo (Bq/mq), di concentrazione di radioattività in acqua, latte, alimenti (Bq/kg), ecc.).

Azioni protettive

Ogni azione protettiva, nel contesto della complessiva strategia di protezione e la strategia stessa va giustificata (tenendo in conto non solo le conseguenze radiologiche, ma anche quelle sociali, economiche e ambientali).

Passiamo rapidamente in rassegna le principali azioni protettive considerate all'interno di una complessiva strategia di protezione:

Azioni protettive urgenti

Le azioni protettive urgenti più frequentemente considerate all'interno di una complessiva strategia di protezione sono:

- a. evacuazione;
- b. riparo al chiuso;
- c. Iodine Thyroid Blocking (ITB) - Blocco tiroideo con iodio stabile;
- d. restrizione sul consumo di prodotti locali (latte, acqua, ecc.);

- e. restrizioni sull'uso di altri beni;
- f. decontaminazione delle persone se necessario;
- g. azioni per prevenire l'ingestione.

Molte di queste azioni possono essere messe in atto a scopo precauzionale sulla base dell'osservazione delle condizioni dell'impianto, prima ancora del rilascio di materiale radioattivo o dell'esposizione a radiazioni (azioni protettive urgenti "precauzionali"). La decisione sull'applicazione di queste azioni protettive urgenti spesso è basata su informazioni limitate ed è guidata da assunzioni conservative circa la potenziale evoluzione della situazione.

ITB - Iodine Thyroid Blocking: Il blocco tiroideo con iodio stabile (Iodine Thyroid Blocking - ITB) è un'azione protettiva urgente a breve termine che garantisce la protezione della tiroide contro l'esposizione a iodio radioattivo. Questa misura può essere adottata a scopo precauzionale anche se in genere non è un'azione isolata ma deve piuttosto essere adottata in combinazione con altre azioni protettive (quali il riparo al chiuso).

IAEA suggerisce come criterio generico per l'implementazione della contromisura, 50 mSv di dose equivalente alla tiroide nei primi 7 giorni (dose proiettata). ITB è un'azione protettiva la cui adozione non può essere prolungata a lungo, anche se in alcune situazioni può essere presa in considerazione la somministrazione di dosi ripetute di iodio stabile. In ogni caso ogniqualvolta ci sia la necessità di prolungare la somministrazione di iodio stabile (es. per diversi giorni) deve essere considerata e valutata l'adozione di altre contromisure quali evacuazione e relocation.

Riparo al chiuso: Anche il riparo al chiuso è un'azione protettiva urgente relativamente semplice da adottare in emergenza sia a scopo precauzionale che come azione protettiva urgente da applicare per breve tempo fino all'adozione in sicurezza di azioni più efficaci ma con conseguenze più importanti (es.: evacuazione).

IAEA suggerisce come criterio generico per l'implementazione della contromisura, 100 mSv di dose efficace (ovvero 100 mSv di dose equivalente al feto) nei primi 7 giorni (dose proiettata).

Il riparo al chiuso non può essere prolungato per lunghi periodi (oltre circa 2 gg) e quindi non è una misura appropriata nella fase di transizione.

Evacuazione: L'evacuazione della popolazione residente in una determinata area è un'azione protettiva urgente che può essere presa sulla base di superamento di uno o più OIL oppure anche in via precauzionale sulla base di considerazioni conservative sull'evoluzione dell'incidente.

IAEA suggerisce come criterio generico per l'implementazione della contromisura, 100 mSv di dose efficace (ovvero 100 mSv di dose equivalente al feto) nei primi 7 giorni (dose proiettata).

Data la natura necessariamente temporanea dell'evacuazione dovrà essere data priorità alla cessazione dell'azione stessa dando considerazione ai seguenti criteri:

- a. sostituendola con la relocation se i risultati del monitoraggio indicano che le dosi proiettate possono essere superiori ai criteri generici per la relocation (OIL);
- b. sospendendola se i risultati del monitoraggio non indicano un superamento delle dosi proiettate rispetto ai criteri generici (OIL) per la relocation, e non sono giudicate necessarie ulteriori restrizioni (es.: su alimenti prodotti localmente o sull'accesso ad aree ricreative, ecc.).

Azioni protettive precoci (early)

Le azioni protettive precoci più frequentemente considerate sono:

- a. relocation;
- b. restrizioni a lungo termine sul consumo di alimenti, latte, acqua potabile;
- c. restrizioni sull'uso di altri beni;
- d. azioni per prevenire l'ingestione e per controllare lo spargimento della contaminazione;
- e. decontaminazione di aree.

In questo caso le informazioni a disposizione sono più dettagliate e vi è una migliore conoscenza della situazione di esposizione.

Relocation: È un'azione protettiva precoce di durata più lunga (mesi). L'eventuale sospensione della relocation è meno urgente che quella dell'evacuazione e quindi vi è più tempo per la sua pianificazione.

IAEA suggerisce come criterio generico per l'implementazione della contromisura, 100 mSv di dose efficace nel primo anno (dose proiettata); ovvero 100 mSv di dose equivalente al feto per tutto il periodo dello sviluppo intrauterino (dose proiettata).

Quando l'evacuazione viene sostituita dalla relocation, alla popolazione evacuata dovrebbe essere permesso l'accesso alle aree evacuate per brevi periodi di tempo e in forma controllata per permettere loro di predisporre per una relocation a più lungo termine.

Fase di transizione

La fase della risposta in emergenza successiva alle prime due (fase della risposta urgente e fase della risposta precoce) è la c.d. Fase di transizione quando:

- a. la situazione è sotto controllo;
- b. la situazione radiologica è stata caratterizzata in dettaglio;
- c. sono state pianificate attività per permettere che l'emergenza dichiarata sia terminata.

Questa fase può durare giorni/mesi.

La fase di transizione è caratterizzata da un approccio diverso: da una strategia dominata dall'urgenza si passa ad una strategia basata su valutazioni più prudenti e integrate che mira sia a ridurre l'esposizione a lungo termine che a migliorare le condizioni di vita. In questa fase si provvederà, secondo le circostanze, ad adattare o rimuovere le azioni protettive urgenti o precoci adottate nelle fasi iniziali.

Bibliografia essenziale

- IAEA Safety Standards – Radiation protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards – General Safety Requirements – No GSR Part 3 – IAEA Vienna 2014.
- IAEA Safety Standards – Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency – General Safety Requirements – No GSR Part 7 – IAEA Vienna 2015.
- IAEA Safety Standards – Arrangements for the Termination of a Nuclear or Radiological Emergency – General Safety Guide – No GSG-11 – IAEA Vienna 2018.

Corrispondenza: Giuseppe De Luca, ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Via V. Brancati 48, 00165 Roma, Italy, giuseppe.deluca@isprambiente.it