

Versione luglio 2016

Factsheet

Radiazioni ionizzanti

Dipl. fis. PF Lisa Pedrazzi, dott. med. Klaus Stadtmüller

1 Radiazioni ionizzanti

L'espressione "radiazioni ionizzanti" è un concetto generale che indica le radiazioni corpuscolari o fotoniche dotate di un'energia sufficiente a separare elettroni dalla nube elettronica o dissociare molecole. Le radiazioni ionizzanti sono emesse da sorgenti radioattive oppure sono prodotte, per esempio, dalla decelerazione di un fascio di elettroni in un materiale. Le radiazioni di frenamento risultanti sono utilizzate soprattutto nel campo della medicina sotto forma di raggi X. Gli ioni, generati dall'emissione di elettroni, producono effetti fisici, chimici e biologici nell'ambiente circostante.

1.1 Principi di fisica, unità di misura e rilevamento

L'effetto delle radiazioni ionizzanti sulla materia e, in particolare, sul corpo umano deve essere rilevato quantitativamente tramite le grandezze dosimetriche. A tale scopo, sono stati formulati diversi concetti di dose:

- la dose ionica espressa in Coulomb per kg (C/kg): la quantità di carica elettrica generata in 1 kg di aria.
- la dose assorbita espressa in Gray (Gy): la quantità di energia delle radiazioni assorbita in 1 kg di massa.
- l'equivalente di dose espressa in Sievert (Sv): l'energia assorbita per kg di tessuto corporeo moltiplicata per un fattore di ponderazione di radiazione, che tiene conto dell'effetto biologico dei diversi tipi di radiazione.
- la dose efficace espressa in Sievert: la somma degli equivalenti di dose dei singoli organi, moltiplicata per un fattore di ponderazione che tiene conto della diversa sensibilità all'irraggiamento dei singoli organi o tessuti.

La dose efficace viene calcolata per l'irradiazione esterna e interna (in caso di incorporazione). Questa dose ponderata di irradiazione totale del corpo è direttamente proporzionale al rischio di insorgenza dei tumori maligni e, di conseguenza, è un

parametro rilevante per le valutazioni medico-biologiche. Pertanto rappresenta anche l'unità di misura più importante per la radioprotezione.

Per misurare la dose efficace accumulata in un campo esterno di radiazioni, si utilizzano dosimetri di un servizio di dosimetria individuale omologato.

La dose efficace risultante da un'irradiazione interna viene determinata indirettamente mediante la misurazione della radioattività. La radioattività corrisponde al numero di disintegrazioni nucleari per unità di tempo che avvengono in una sorgente radioattiva. L'unità di misura della radioattività è il Becquerel ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ disintegrazione al secondo}$). In base al radionuclide determinato dalla rilevazione e alla relativa radioattività, si può calcolare la dose efficace impegnata E_{50} (la dose efficace accumulata nell'organismo nell'arco di 50 anni in seguito all'incorporazione di un radionuclide) con l'ausilio di modelli metabolici. Gli intervalli e i metodi di misurazione sono regolamentati nell'ordinanza sulla dosimetria individuale (8).

2 Esposizione professionale e non professionale a radiazioni

Tutte le persone sono esposte costantemente a radiazioni ionizzanti emesse da fonti di irradiazione naturali e artificiali.

In Svizzera, nel 2014 circa 96 000 lavoratori sono stati esposti professionalmente a radiazioni a causa dell'attività svolta. La maggior parte di questi soggetti lavora nell'ambito sanitario.

2.1 Esposizione non professionale

L'esposizione non professionale a radiazioni è dovuta alle radiazioni naturali presenti nell'ambiente (es. alimentazione, sottosuolo, spazio) e all'irradiazione prodotta da sorgenti radioattive artificiali. In quest'ultimo caso, rispetto ad altre sorgenti l'utilizzo di radiazioni ionizzanti in ambito medico svolge il ruolo di gran lunga più importante in riferimento alla popolazione. Gli effetti delle radiazioni prodotte dagli esperimenti con armi atomiche condotti in superficie e dagli incidenti nucleari (Cernobyl, Fukushima) sono trascurabili in relazione al loro contributo all'esposizione totale alle radiazioni, dato che rientrano nel *range* di dosi di pochi centesimi di mSv.

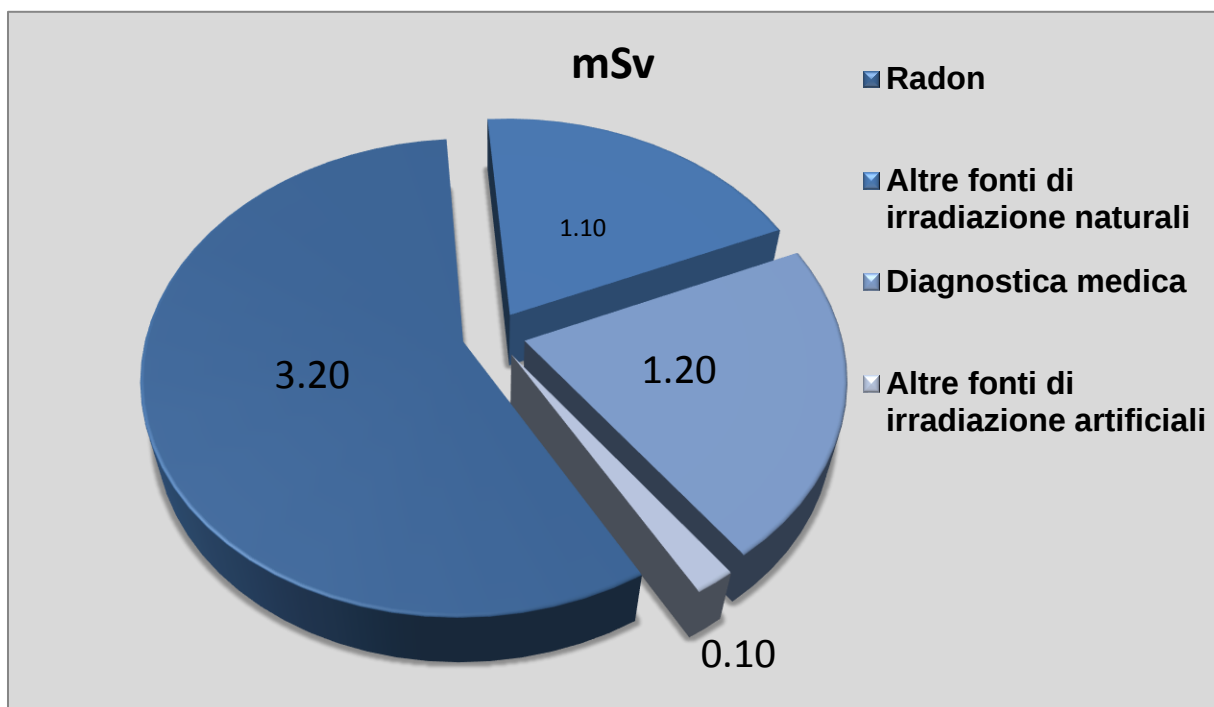


Figura 1: dose media annua a cui è esposta la popolazione svizzera in base a (1).

2.2 Esposizione professionale

Un soggetto esposto professionalmente a radiazioni è una persona che nel corso della sua attività professionale o della sua formazione può accumulare una dose efficace superiore a 1 mSv all'anno in seguito a esposizione controllata a radiazioni oppure una persona che regolarmente lavora o segue una formazione all'interno di zone controllate (3). I soggetti di età inferiore a 16 anni non possono essere esposti professionalmente a radiazioni; inoltre, a tutela dei giovani, delle gestanti e delle donne che allattano vengono applicate disposizioni speciali.

Un'esposizione professionale può essere dovuta all'uso mirato di radiazioni ionizzanti nell'industria, nelle centrali nucleari o in ambito sanitario. Ne sono un esempio i lavori

- che richiedono l'utilizzo di sostanze radioattive come *marker* (marcatori) negli esami biochimici
- che prevedono l'uso di apparecchi di irradiazione per eseguire le prove e la lavorazione dei materiali
- svolti nelle centrali nucleari
- che richiedono l'uso di apparecchi di irradiazione o nuclidi nel campo della medicina

Tuttavia, l'esposizione professionale può essere dovuta anche ad attività svolte in un ambiente caratterizzato da una concentrazione elevata di radiazioni naturali o a un'esposizione prolungata a sorgenti radioattive.

Ne sono un esempio i lavori:

- che vengono effettuati per la costruzione di gallerie e nell'industria mineraria
- che prevedono una lunga permanenza in cavità sotterranee
- svolti nel settore di smaltimento dei rifiuti
- nel campo dell'aeronautica

Tuttavia, in base alla definizione riportata sopra, questi lavoratori non sono considerati attualmente soggetti esposti professionalmente a radiazioni ai sensi della legge.

2.3 Possibili casi di esposizione

La sorgente radioattiva, se situata all'esterno del corpo umano, può causare un'irradiazione esterna che, in base al tipo di radiazioni, penetra a diverse profondità nell'organismo trasferendo tutta l'energia (principio della radioterapia) oppure passa completamente attraverso il corpo e interagisce con il tessuto irradiato (principio della radiografia).

L'altro possibile caso di esposizione è l'irradiazione interna causata da un'incorporazione. In questo caso, l'organismo esposto assorbe le sostanze radioattive per via inalatoria, tramite ingestione oppure attraverso la cute (danneggiata o intatta). A seconda del radionuclide e del composto chimico, queste sostanze sono poi immagazzinate nell'organismo (ad es. lo stronzio si fissa nelle ossa), sono distribuite passivamente (ad es. il trizio si diffonde nei fluidi corporei) oppure vengono integrate nei processi metabolici e possono distribuirsi in varie parti del corpo. Ne sono un esempio gli isotopi di iodio che sono assorbiti nell'organismo per scopi terapeutici oppure in seguito a un'emissione accidentale e si accumulano nella tiroide. In questo caso, la tiroide è definita "l'organo bersaglio" dell'isotopo dello iodio.

Può anche accadere che una sorgente radioattiva emetta nuclidi o molecole radioattivi che possono attaccarsi, sotto forma di particelle, al corpo o ai vestiti e causare di conseguenza una contaminazione in associazione a una possibile irradiazione esterna e anche interna.

2.4 Caso specifico del radon

Il radon è un gas nobile radioattivo naturale che si forma, come prodotto di decadimento, nella serie di disintegrazioni dell'uranio presente in natura nel suolo. Anche i prodotti di decadimento del radon sono radioattivi, si attaccano a particelle sospese nell'aria e possono di conseguenza essere inalati. Le radiazioni emesse dal radon e in particolare dai suoi prodotti di decadimento possono causare danni ai polmoni. Dopo il tabagismo, il radon rappresenta la seconda causa più frequente di cancro ai polmoni.

Il radon è un gas inodore e incolore che può accumularsi negli ambienti. Pertanto, la permanenza per motivi di lavoro in luoghi in cui sono presenti alte concentrazioni di radon è collegata a un'esposizione a radiazioni anche se, in base alle norme giuridiche attuali, questi lavoratori non sono considerati esposti professionalmente a radiazioni. Attualmente, per le concentrazioni di radon negli ambienti di lavoro si applica un valore limite di 3'000 Becquerel/m³, calcolato come media sulla durata mensile del lavoro (ORaP, art. 110).

Gli ambienti di lavoro con concentrazioni potenzialmente elevate di radon si trovano in particolare:

- negli acquedotti
- nei cantieri sotterranei
- negli impianti militari

3 Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti

L'energia delle radiazioni ionizzanti è sufficiente per scindere legami chimici o per ionizzare molecole. Ciò avviene direttamente tramite le radiazioni corpuscolari o indirettamente tramite il trasferimento di energia di fotoni (radiazioni gamma, raggi X) o di neutroni veloci su elettroni e nuclei atomici di molecole del corpo umano.

3.1 Effetti stocastici e deterministici delle radiazioni

I meccanismi biologici summenzionati sono alla base di entrambi i tipi di danni causati da radiazioni, che sono suddivisi in:

effetti stocastici delle radiazioni:

Sono conseguenti ai danni causati al DNA, soprattutto i tumori maligni (11). Per gli effetti stocastici non esiste alcun effetto soglia, tuttavia le possibilità di insorgenza dipendono dalla dose.

effetti deterministici delle radiazioni (malattia acuta da radiazione):

Conseguenze dei danni causati a tutte le strutture cellulari delle parti del corpo irradiate o dell'intero organismo. Esiste una soglia di effetto per i danni oggettivi causati alla salute. Le radiazioni ionizzanti non provocano la morte immediata delle cellule ma la perdita della loro capacità di dividersi.

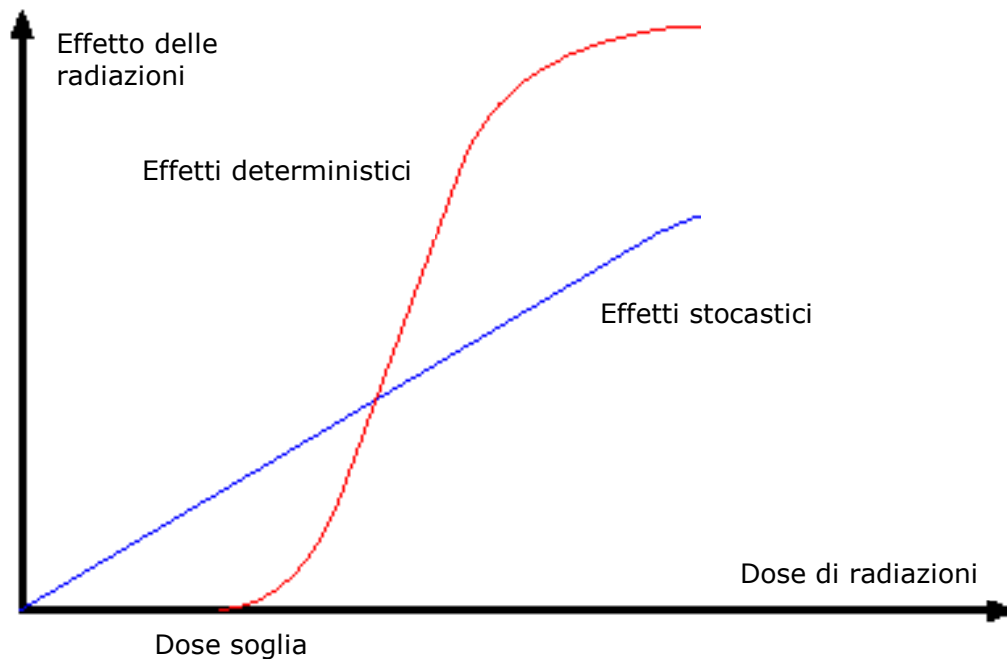


Figura 2: correlazione dose-effetto

tratta da: http://www.leifiphysik.de/web_ph09_g8/umwelt_technik/08biol_strahl/biolog_str1.htm

3.2 Incidente radioattivo e gestione (panoramica)

L'insorgenza e il decorso dei disturbi di salute dipendono essenzialmente dalla dose assorbita e di conseguenza dal numero di cellule ancora funzionanti nonché dalla capacità di riparazione preservata delle cellule danneggiate. Più elevata è la dose assorbita, più velocemente insorgono diversi disturbi sotto forma di una sindrome. Tuttavia, i tessuti del corpo umano hanno una sensibilità diversa alle radiazioni: più breve è il ciclo di vita delle cellule funzionali negli organi e più piccola è la riserva (*pool*) di cellule staminali sane, più rapidamente insorgono danni funzionali a carico dell'organo. Per questo motivo, nell'ambito della gestione medica di un incidente radioattivo si tiene conto non soltanto dell'entità della dose, ma si cerca nella fase successiva all'intervento di pronto soccorso di prendere in considerazione le condizioni individuali di un ferito tramite anche un sistema complesso di punteggi organo-specifici. Qualora fosse necessario prendere decisioni in merito a procedure invasive (ad es. trapianto di cellule staminali) in seguito a eventi accidentali che hanno causato l'insorgenza di una grave sindrome da radiazione associata a un'insufficienza multiorgano, sono disponibili anche sistemi avanzati supportati dalla tecnologia IT (5;6).

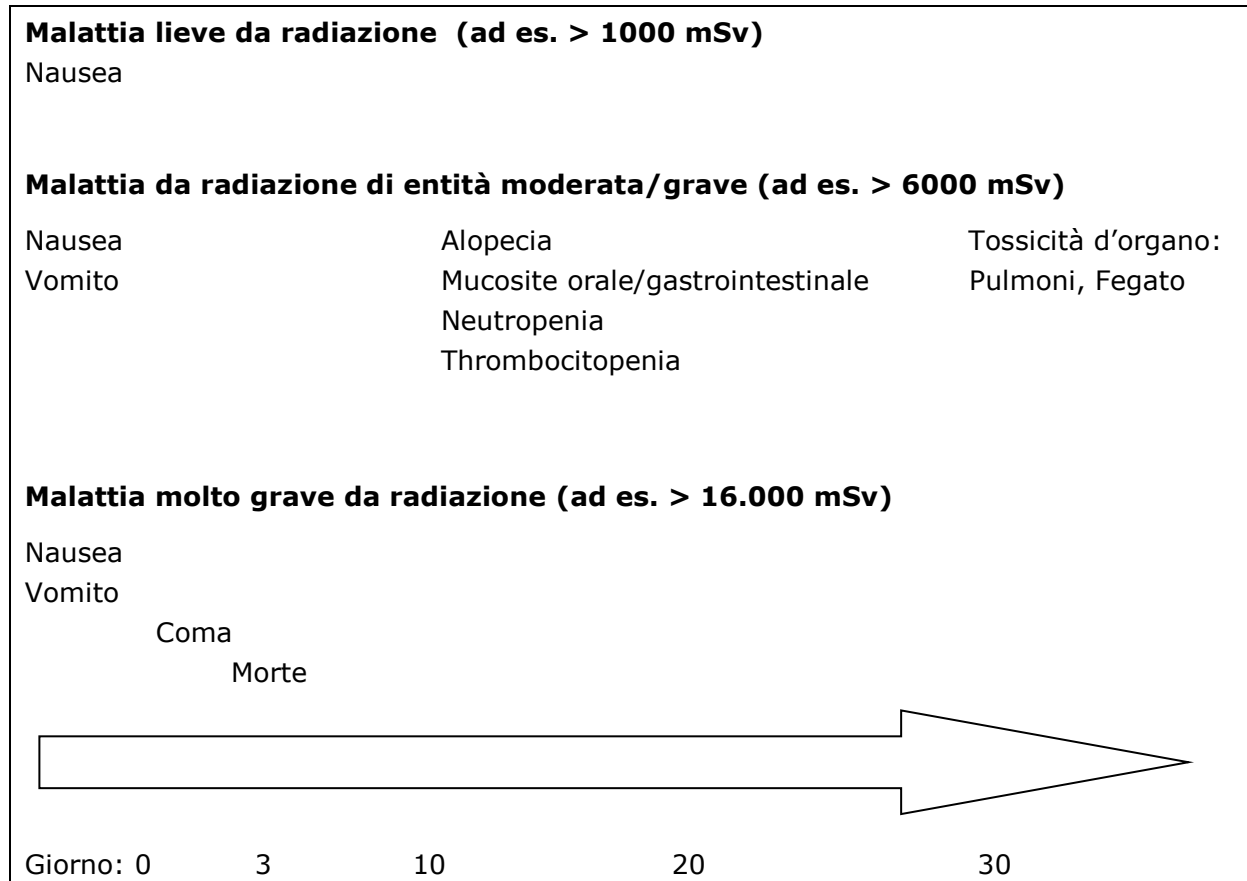


Figura 3: malattia da radiazione – Sintomi e relativa sequenza temporale

4 Radioprotezione dei lavoratori in Svizzera

L'utilizzo e la manipolazione di radiazioni ionizzanti sono fortemente regolamentati in Svizzera così come in altri Paesi (2;3;9;).

4.1 Licenza e sorveglianza per le aziende

Un'azienda, che in Svizzera utilizza radiazioni ionizzanti o impiega dei dipendenti in un'altra azienda (ad es. prestatore di personale) come personale professionalmente esposto alle radiazioni, necessita di una licenza ufficiale che deve essere rilasciata dalle autorità competenti. Questa licenza viene concessa soltanto se, tra l'altro, nell'azienda è presente un perito in radioprotezione che dispone di una formazione riconosciuta. Le autorità preposte al rilascio della licenza sono:

- L'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP) nell'ambito sanitario, nel campo della ricerca scientifica e nell'industria
- L'Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN) per gli impianti nucleari

Per la vigilanza sull'attuazione delle misure di radioprotezione entra in gioco anche un altro ente, l'Istituto nazionale svizzero di assicurazione contro gli infortuni (Suva) che è l'organo di sorveglianza per l'industria e l'artigianato nonché per gli istituti privati di

ricerca. L'UFSP vigila sull'impiego di radiazioni ionizzanti nell'ambito sanitario e nel campo della ricerca pubblica. L'IFSN è l'autorità di sorveglianza in materia di radioprotezione nelle centrali nucleari. È necessario distinguere l'attività di sorveglianza relativa all'attuazione delle ulteriori disposizioni previste per la prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali, i cui organi di vigilanza sono disciplinati nell'ordinanza sulla prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali (OPI).

4.2 Dosimetria individuale

Il valore limite di dose fissato per i soggetti esposti professionalmente a radiazioni (vedi 2.2.), emesse da sorgenti radioattive controllabili, è pari a 20 mSv/anno di esposizione del corpo intero. I valori limite di dose stabiliti per varie parti del corpo sono pari a 150 mSv/anno per il cristallino e 500 mSv/anno per la pelle, le mani o i piedi. Nei soggetti esposti professionalmente a radiazioni, l'esposizione deve essere rilevata tramite una dosimetria individuale adeguata e i valori dell'irradiazione devono essere determinati da un servizio di dosimetria individuale omologato. Il titolare della licenza deve conoscere i valori di dose prestabiliti.

Il perito in radioprotezione dell'azienda somma le dosi mensili alla fine dell'anno o in caso di cessazione del rapporto di lavoro della persona interessata e riporta la dose accumulata nel libretto di dosimetria personale. Se necessario, il lavoratore riceve personalmente il documento (ad es. attività all'estero).

Per la sorveglianza dei lavoratori a rischio di incorporazione (impiego di radionuclidi, per esempio, in laboratorio o nella medicina nucleare), la dosimetria è integrata da un monitoraggio biologico dell'urina.

In Svizzera tutti i dati della dosimetria individuale sono raccolti nel registro centrale delle dosi (RCD) e conservati per almeno 100 anni.

4.3 Prevenzione nel settore della medicina del lavoro

4.3.1 Informazioni generali

La sorveglianza medica dei lavoratori esposti professionalmente a radiazioni, che è regolamentata giuridicamente nell'art. 13 della legge sulla radioprotezione, rientra nelle competenze della Suva. In base all'art. 70 dell'OPI (10) gli esami profilattici previsti della Suva hanno lo scopo di prevenire gli infortuni e le malattie professionali.

In base agli artt. 70 segg. dell'OPI, nell'ambito della prevenzione nel settore della medicina del lavoro si può prendere in considerazione soltanto un possibile rischio per se stessi. Gli aspetti relativi alla sicurezza operativa o al rischio per terzi non sono contemplati nella decisione di idoneità emanata dalla Suva (ad es. rischio di infarto cardiaco di un operatore addetto al reattore in una centrale nucleare a causa di una pressione arteriosa elevata). Il gestore dell'impianto deve tenere conto di questi aspetti, che devono essere illustrati ai dipendenti sulla base di un'analisi aziendale dei rischi e delle esigenze emerse. Nelle centrali nucleari, determinati aspetti sono regolamentati anche dall'ordinanza sulle esigenze per il personale degli impianti nucleari (OEPIN) e

dall'ordinanza concernente i corpi di guardia degli impianti nucleari (OCGIN), che richiedono una valutazione medica.

Nell'ambito delle visite profilattiche di medicina del lavoro svolte dalla Suva, a partire dal 1963 tutte le persone professionalmente esposte a radiazioni venivano sottoposte regolarmente a una visita i cui risultati erano oggetto di valutazione. Nel corso degli anni si è riscontrato che le radiazioni ionizzanti causavano poche malattie professionali e che queste difficilmente venivano diagnosticate tramite una visita profilattica. Per questo motivo, nel 2016 la Suva ha deciso di sospendere la sorveglianza medica. In caso di infortuni con elevata esposizione alle radiazioni ionizzanti o su precisa richiesta degli organi di esecuzione la Divisione medicina del lavoro dalla Suva deciderà caso per caso se svolgere tali visite profilattiche.

5 Incidenti in azienda – superamento della dose

Anche durante il funzionamento normale di un impianto con radiazioni ionizzanti oppure in caso di permanenza in ambienti affetti da radiazioni, i lavoratori devono proteggersi usando dispositivi di protezione individuale e adottando un comportamento appropriato per evitare eventuali irradiazioni. Inoltre, vengono applicati i quattro principi della radioprotezione:

- aumentare la distanza dalla sorgente
- interporre una schermatura
- ridurre il tempo di esposizione
- evitare l'assorbimento (di radionuclidi)

Tuttavia, possono verificarsi condizioni anomale associate a un'esposizione elevata a radiazioni, che vengono definite "incidenti".

Un incidente si verifica se un impianto si discosta dalle normali condizioni di esercizio stabilite dalle disposizioni e pregiudica la sicurezza (in conformità all'ORaP, appendice 1). Sono definite tre categorie di incidenti:

- Se si può escludere un superamento del valore limite di dose annua per i soggetti esposti non professionalmente a radiazioni (1 mSv), in tal caso si parla di incidente di natura tecnica.
- In caso di incidente radiologico, bisogna prevedere un superamento del valore limite di dose per i soggetti esposti non professionalmente a radiazioni o di un valore limite di immissione (in conformità all'art. 102 dell'ORaP).
- Si verifica un incidente con radiazioni se un soggetto ha accumulato una dose efficace superiore a 50 mSv durante un incidente radiologico.

Già in caso di sospetto di un'esposizione inammissibile a radiazioni, i soggetti interessati e l'azienda devono adottare le seguenti misure:

Misure di emergenza

Se necessario, il servizio di pronto intervento viene allertato nel giro di pochi minuti (ambulanza, polizia o vigili del fuoco). Se possibile, si deve interrompere l'irradiazione (arrestare l'impianto, schermare la sorgente radioattiva, abbandonare la zona di pericolo, ecc.). In caso di incendio (se è possibile senza correre alcun rischio), si deve spegnere il fuoco e rimuovere la sorgente radioattiva dalla zona di pericolo. Mettere al sicuro le persone in pericolo e se stessi e attuare le eventuali misure salvavita di pronto soccorso. È necessario sbarrare provvisoriamente la zona di pericolo.

Gestione e comunicazione all'autorità di sorveglianza

Soltanto in caso di incidenti di natura tecnica che si verificano all'interno dell'azienda e che possono essere gestiti da servizi interni senza alcun pericolo in caso di ritardo, è sufficiente informare immediatamente l'autorità di sorveglianza durante l'orario normale di lavoro.

Dare l'allarme

In caso di incidente che l'azienda da sola non riesce più a gestire, è necessario informare il posto di allarme della Centrale nazionale d'allarme (PA), che allerta la Centrale nazionale d'allarme (CENAL), la quale attiva un corpo di pronto intervento. Un dipendente esperto in radioprotezione, raggiungibile in qualsiasi momento dal PA, deve valutare la situazione, stabilire le misure di emergenza da adottare e informare altri servizi.

A seconda della decisione presa dalla CENAL, il PA mobilita una squadra di intervento, che può essere per esempio la squadra di pronto intervento per la radioprotezione dell'Istituto Paul Scherrer (PSI), con sede a Würenlingen.

L'incidente viene gestito dapprima sotto la guida della squadra di intervento e poi secondo le disposizioni dell'autorità di sorveglianza. Possono essere predisposte le operazioni di decontaminazione, smaltimento e ulteriori misure. Anche i fornitori delle sorgenti radioattive possono fornire assistenza durante queste operazioni, dato che spesso dispongono di speciali contenitori schermati, attrezzature e possiedono le necessarie competenze tecniche.

Dosimetria

In caso di incidente le dosi accumulate nei soggetti interessati devono essere stimate in base al tempo di esposizione e all'intensità della dose. I dosimetri, se disponibili, devono essere consegnati al servizio di dosimetria per l'analisi.

Se sono coinvolti dei lavoratori, la Suva (Divisione medicina del lavoro) deve essere informata in merito alle misure adottate; può richiedere eventuali esami di *follow-up* e verificare l'ulteriore idoneità per l'esposizione professionale a radiazioni.

Si devono adottare le seguenti misure:

- Se la dose accumulata stimata è compresa tra 50 e 250 mSv, si deve prescrivere un controllo medico (da effettuare possibilmente entro 24 ore).
- In caso di dosi comprese tra 250 e 1000 mSv, si devono effettuare accertamenti dei possibili danni presso un ospedale regionale entro 24 ore.
- Se la dose accumulata è superiore a 1000 mSv, è necessario procedere immediatamente al ricovero in un ospedale universitario o in un ospedale dotato di apparecchiature per il trattamento di persone irradiate.

Per eventuali domande specifiche, ulteriori informazioni dettagliate sono riportate nell'opuscolo della Suva "Der Strahlenunfall" (9).

6 Bibliografia

- 1) Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität in der Schweiz
Ergebnisse 2011. Ufficio federale della sanità pubblica. Liebefeld
Pubblicazione dell'UFSP n. VS 04.12 40EXT1208 1'000 df-kombi 287731
- 2) Legge sulla radioprotezione RS 814.50; aggiornamento 01/01/2007
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_50.html
- 3) Ordinanza sulla radioprotezione RS 814.501; aggiornamento 01/01/2012
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_501.html
- 4) National Research Council, 2006. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. National Academy of Sciences.
<http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=030909156X>
- 5) Koenig et al.: Medical treatment of radiological casualties: current concepts. Ann Emerg Med. 2005; 45: 643-652.
- 6) Weinstock et al.: Radiologic and nuclear events: contingency planning for hematologists/oncologists. Blood 2008; 111: 5440-5445.
- 7) Passweg et al: Medizinische Folgen der Strahlenexposition, Strahlenkrankheit und deren Behandlung.
Schweiz Med Forum 2011; 11:512-514
- 8) Ordinanza sulla dosimetria individuale RS 814.501.43; aggiornamento 01/01/2008
http://www.admin.ch/ch/d/sr/814_501_43/index.html
- 9) Der Strahlenunfall.
Suva Serie Medicina del lavoro n. 21. Suva n. 2869/21
- 10) Ordinanza sulla prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali
RS 832.30; Stato 1 luglio 2010
http://www.admin.ch/ch/d/sr/c832_30.html
- 11) A review of human carcinogens. Part D: Radiation / IARC Working group on the evaluation of carcinogenic risks to humans (2009: Lione, Francia)

Indirizzi utili:

Suva
Divisione medicina del Lavoro
Fluhmattstr. 1
6002 Lucerna
Tel.: +41 41 419 52 78

Suva
Divisione Tutela della salute sul lavoro
Settore fisica
Rösslimattstr. 39
6002 Lucerna
Tel.: +41 41 419 61 33

Ufficio federale della sanità pubblica
Divisione radioprotezione
3003 Berna
Tel.: +41 31 322 96 14

Ispettorato federale della sicurezza nucleare
Industriestrasse 19
5200 Brugg
Tel.: +41 56 460 84 00