

Radioprotezione: premesse e modalità

Entriamo nel merito della sicurezza sul lavoro con riferimento alle radiazioni ionizzanti, trattando della radioprotezione. Essa comprende sia misure collettive che DPI, esaminati nel prossimo contributo. Preliminarmente affrontiamo brevemente quali sono le attività che utilizzano le radiazioni ionizzanti, per comprendere quali tipologie di lavoratori sono esposti e risulta necessario proteggere dai rischi, che come già visto, si traducono in importanti effetti sulla salute spesso nel lungo periodo; si pensi ai tumori che possono svilupparsi dopo anni dall'esposizione.

di Alessandro Bordin per Wolters Kluwer Italia

Cenni sulle attività in cui si può essere esposti a radiazioni ionizzanti

La casuale scoperta delle radiazioni ionizzanti ed in particolare dei raggi X di cui tratteremo ampiamente in quanto utilizzati moltissimo per le loro caratteristiche, ha aperto un'ampissima frontiera nella conoscenza della materia e dei materiali¹.

Breve storia dei Raggi X e delle radiazioni ionizzanti

La scoperta dei raggi X avvenne da parte di Wilhelm Conrad Röntgen nel 1895. Nel 1896 Antoine Henri Becquerel, durante uno studio sulle relazioni intercorrenti tra fosforescenza e Raggi X, scoprì la radioattività naturale dell'uranio. Nel 1898 Maria Skłodowska (più nota come Marie Curie) e Pierre Curie scoprirono la radioattività del polonio e del radio. Gli esperimenti di Becquerel consistevano nell'esporre alla luce del sole una sostanza fosforescente disposta su un involucri di carta opaca in cui vi era una lastra fotografica destinata a rivelare l'emissione non luminosa della sostanza. La scelta cadde sul solfato di uranio che sviluppava una fosforescenza molto viva. Gli esperimenti mostravano che la lastra fotografica veniva impressionata dopo una debita illuminazione, il che confermava l'ipotesi di Becquerel. Ben presto però Becquerel osservò un fenomeno del tutto nuovo e inatteso: si accorse che la lastra veniva impressionata anche al buio. Becquerel ipotizzò che la sostanza continuasse a emettere radiazioni derivate dall'illuminazione anche dopo la fine dell'esposizione ai raggi solari. Dopo ripetuti esperimenti con materiali diversi, si verificò che le radiazioni non dipendevano dalla caratteristica della fosforescenza della sostanza ma dall'uranio. Questa scoperta aprì un nuovo filone di ricerca orientata a determinare l'eventuale presenza in natura di altri elementi che presentassero la stessa proprietà dell'uranio e soprattutto la natura di ciò che veniva emesso. Fu Marie Curie che iniziò a misurare la radiazione dell'uranio mediante la piezoelettricità, scoperta dal marito Pierre in collaborazione con il fratello Jacques, facendo ionizzare l'aria tra due elettrodi e provocando il passaggio di una piccola corrente di cui misurava l'intensità in rapporto alla pressione su un cristallo necessaria a produrre un'altra corrente tale da bilanciare la prima. Tale sistema funzionò e il marito Pierre abbandonò il suo lavoro per affiancare la moglie in tali ricerche. Fu Marie a proporre il termine radioattività per indicare la capacità dell'uranio di produrre radiazioni e dimostrò la presenza di tale radioattività anche in un altro elemento: il torio. Con il marito Pierre, saggiando il contenuto di uranio della pechblenda (un minerale che lo contiene) al fine di raffinare tale elemento, rilevò che alcuni campioni erano più radioattivi di quanto lo sarebbero stati se costituiti di uranio puro e ciò implicava che nella pechblenda fossero presenti elementi in quantità minime non rilevate dalla normale analisi chimica e che la loro radioattività fosse molto alta. Il passo successivo fu quello di esaminare tonnellate di pechblenda (delle miniere di Joachimstal in Cecoslovacchia) che vennero stipate in una baracca nella quale era stata installata un'officina e, nel 1898, isolò una piccola quantità di polvere nera avente radioattività pari a circa 400 volte quella di un'analogica quantità di uranio. In tale polvere era contenuto un nuovo elemento dalle caratteristiche simili al tellurio (sotto il quale venne successivamente sistemato nella tavola periodica) che fu chiamato polonio in onore della Polonia, paese natale di Marie. Tale scoperta fu annunciata dal suo amico Gabriel Lippmann con una nota all'Accademia delle Scienze di Parigi. L'ulteriore lavoro conseguente al rilievo che quest'ultimo elemento, il polonio, non potesse giustificare gli alti livelli di radioattività rilevati, condusse, sempre nel 1898, alla scoperta di un elemento ancor più radioattivo del polonio, avente proprietà simili al bario e dal quale fu separato mediante cristallizzazioni frazionate, che fu chiamato radio per la sua intensa radioattività. Anche tale scoperta fu oggetto di una nota scritta in collaborazione con Gustave Bémont che aveva lavorato con i coniugi Curie. Il resoconto di tale lavoro divenne nel 1903 la tesi di dottorato di Maria Skłodowska Curie. (Tratto integralmente da Wikipedia)

Le proprietà delle radiazioni ionizzanti e delle sorgenti che le producono/emettono, sono state ampiamente utilizzate dopo la scoperta. Si pensi ad esempio per la produzione di energia elettrica, nelle centrali nucleari attraverso vari processi, alcuni dei quali ancora in via di sperimentazione. La frontiera innovativa, legata soprattutto allo scopritore dei raggi X (Röntgen) che possono essere impressionati su una lastra fotografica, è rappresentata dai controlli non distruttivi dei materiali.

¹ Questo grazie ad una loro caratteristica, ossia la loro penetrabilità rispetto ad altre tipologie di radiazioni, ad esempio quelle α e β , che non lo sono affatto (ovvero, più precisamente, presentano una penetrabilità limitatissima tanto da essere "bloccate" da un foglio di carta).

Inizialmente utilizzati per finalità sanitaria (diagnostica e successivamente nel tempo anche terapeutica²), si è cominciato ad adoperarli per i controlli ed i collaudi di alcuni materiali prima di essere posti in opera (ad esempio tubazioni metalliche, pilastri, ecc.), ovvero per verificarne gli eventuali difetti.

Nelle prove non distruttive di radiografia i raggi X, oppure i raggi gamma, attraversano il componente saldato da analizzare e vengono assorbiti in funzione dello spessore e della densità della materia penetrata, impressionando una pellicola radiografica. Sviluppando le lastre radiografiche, in presenza di difetti nelle saldature, come cavità, fessure, discontinuità di materiale, sulle pellicole si formeranno macchie più scure o più chiare, d'intensità proporzionale allo spessore del difetto. Per questo motivo le radiazioni hanno lo scopo di stabilire i criteri di giudizio sul grado di difettosità, specialmente nelle saldature, per risalire all'accettabilità e quindi alla sicurezza delle strutture poste in esame, fra cui:

- 1) caldaie e recipienti in pressione;
- 2) giunti circonferenziali di tubature in pressione;
- 3) costruzione di carpenterie metalliche e
- 4) costruzioni navali e di condotte forzate.

Radioprotezione

L'esposizione dei lavoratori si previene e riduce attraverso la cosiddetta radioprotezione, prevista sia dalla legislazione comunitaria che nazionale, quest'ultima rappresentata dal D.Lgs. n. 230/1995. Essa prevede dei principi generali (art. 2), di seguito riportati:

- un'esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere giustificata, anteriormente alla loro prima adozione o approvazione, dai vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al detrimento sanitario che ne può derivare. Si tratta del principio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), finalizzato all'ottimizzazione della protezione degli esposti;
- qualsiasi pratica deve essere svolta in modo da mantenere l'esposizione al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali e
- la somma delle dosi derivanti da tutte le pratiche non deve superare i limiti di dose stabiliti per i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e gli individui della popolazione.

Ci soffermiamo sulla protezione sanitaria dei lavoratori e gli aspetti relativi alla sicurezza sul lavoro (si veda il Capo VIII del decreto, intitolato "Protezione sanitaria dei lavoratori"). L'art. 61 definisce gli obblighi del datore di lavoro (Tabella 1). Sono previsti anche degli obblighi per i lavoratori, definiti dall'art. 67, riportati in Tabella 2.

La legislazione prevede altresì degli obblighi per le imprese esterne (artt. 62 e successivi), per i lavoratori autonomi (art. 64) nonché per quelli autonomi e dipendenti da terzi (art. 67). Per questi aspetti si rimanda al testo legislativo.

L'art. 72 ribadisce in altri termini, il principio ALARA, recitando testualmente: "il datore di lavoro è tenuto ad attuare tutte le misure di sicurezza e protezione idonee a ridurre le esposizioni dei lavoratori al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenendo conto dei fattori economici e sociali".

Ai fini della prevenzione dei rischi da radiazioni ionizzanti è necessario:

- valutare i livelli della dose efficace ed equivalente;
- progettare ed utilizzare i luoghi di lavoro in modo che i lavoratori, ed eventualmente le persone del pubblico, siano esposti nel minor modo possibile;
- limitare il numero dei lavoratori esposti, prevedendo eventualmente dei turni e
- limitare il tempo di esposizione del lavoratore.

² Si pensi, nello specifico, alla radioterapia oncologica, anche somministrata durante interventi chirurgici (intraoperatoria). Le radiazioni in questo caso sono implicate in un duplice effetto salutistico, positivo e negativo. Se da un lato, come già evidenziato, esse possono portare all'insorgenza dei tumori, dall'altro nell'utilizzo sanitario in opportune dosi e con appropriate modalità di somministrazione, si dimostrano curative grazie alla loro capacità di "distruzione delle cellule tumorali". Purtroppo, in questo caso, non esiste una selettività dell'azione, che coinvolge anche "cellule sane" e non solo "malate". Si tratta, di conseguenza, di un grande limite della terapia e quindi dell'utilizzo sanitario.

Tabella 1 - Obblighi del datore di lavoro

1) debbono acquisire da un esperto qualificato, i cui requisiti sono fissati nel decreto, una relazione scritta contenente le valutazioni e le indicazioni di radioprotezione inerenti alle attività stesse;
2) provvedere affinché gli ambienti di lavoro in cui sussista un rischio da radiazioni vengano individuati, delimitati, segnalati, classificati in zone e che l'accesso ad essi sia adeguatamente regolamentato.
3) provvedere affinché i lavoratori interessati siano classificati ai fini della radioprotezione;
4) predisporre norme interne di protezione e sicurezza adeguate al rischio di radiazioni e curare che copia di dette norme sia consultabile nei luoghi frequentati dai lavoratori, ed in particolare nelle zone controllate;
5) fornire ai lavoratori, ove necessari, i mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione, in relazione ai rischi cui sono esposti;
6) adottare un programma di formazione finalizzato alla radio-protezione, in relazione alle mansioni cui essi sono addetti i lavoratori, dei rischi specifici cui sono esposti, delle norme di protezione sanitaria, delle conseguenze derivanti dalla mancata osservanza delle prescrizioni mediche, delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne;
7) provvedere affinché i singoli lavoratori osservino le norme interne usino i mezzi di sorveglianza dosimetrica ed osservino le modalità di esecuzione del lavoro elencate al punto precedente;
8) provvedere affinché siano apposte segnalazioni che indichino il tipo di zona, la natura delle sorgenti ed i relativi tipi di rischio e siano indicate, mediante appositi contrassegni, le sorgenti di radiazioni ionizzanti, fatta eccezione per quelle non sigillate in corso di manipolazione;
9) fornire al lavoratore esposto i risultati delle valutazioni di dose effettuate dall'esperto qualificato, che lo riguardino direttamente, nonché assicurare l'accesso alla documentazione di sorveglianza fisica concernente il lavoratore stesso.

Tabella 2 - Obblighi dei lavoratori

1. osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro o dai suoi incaricati, ai fini della protezione individuale e collettiva e della sicurezza, a seconda delle mansioni alle quali sono addetti;
2. usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
3. segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza;
4. non rimuovere e non modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;
5. non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;
6. sottoporsi alla sorveglianza medica.

La legislazione prevede che il datore di lavoro adotti i provvedimenti idonei ad evitare i limiti di dose previsti per le diverse categorie di soggetti distinguendo fra

- a) i lavoratori esposti;
- b) gli apprendisti e studenti;
- c) i lavoratori non esposti;
- d) i lavoratori autonomi e dipendenti da terzi ed
- e) le lavoratrici (ed apprendiste) in età fertile.

Viene fatta distinzione fra dose equivalente ed efficace; quest'ultima è la somma di tante dosi equivalenti assorbite. Questi parametri servono a definire alcuni adempimenti per il datore di lavoro, quale la classificazione degli esposti, la zonizzazione delle aree e quindi i provvedimenti da prendere (sorveglianza fisica e sanitaria).

Si tratta di un'attività che deve essere svolta negli ambienti di lavoro dove sono presenti una o più zone controllate/sorvegliate o che comportino la classificazione degli addetti come esposti. A tal fine si vedano gli Allegati III e IV del D.Lgs. 230/1995, cui si rimanda per approfondimenti.

Sono definite zone controllate o sorvegliate quelle aree in cui sussiste la possibilità per i lavoratori ivi operanti, il rischio di superamento di uno qualsiasi dei valori della Tabella 3.

La classificazione dei lavoratori (in esposti di Categoria A - B e non esposti) fa riferimento ai valori delle dosi efficaci ed equivalenti come indicato nelle Tabelle 4 e 5.

Tabella 3 – Zona controllata e zona sorvegliata

	Dose efficace (mSv anno ⁻¹)	
	Zona controllata	Zona sorvegliata
Esposizione globale	6	1
cristallino	45	15
Pelle, mani, avambracci, piedi e caviglie	150	50

Tabella 4 – Classificazione dei lavoratori (dose efficace)

	Limite inferiore (mSv anno ⁻¹)	Limite superiore (mSv anno ⁻¹)
Lavoratore non esposto	-	1
Lavoratore esposto Categoria B	1	6
Lavoratore esposto Categoria A	6	20

Tabella 5 – Classificazione dei lavoratori (dose equivalente)

		Limite inferiore (mSv anno ⁻¹)	Limite superiore (mSv anno ⁻¹)
Lavoratore non esposto	Cristallino	-	15
	Pelle	-	50
	Estremità	-	50
Lavoratore esposto Categoria B	Cristallino	15	45
	Pelle	50	150
	Estremità	50	150
Lavoratore esposto Categoria A	Cristallino	45	150
	Pelle	150	500
	Estremità	150	500

Sorveglianza sanitaria

Il datore di lavoro deve assicurare la sorveglianza sanitaria da parte di medici autorizzati (esiste un elenco presso l'Ispettorato Medico Centrale del Lavoro) per i lavoratori classificati nella Categoria A. Essi eseguono la visita medica preventiva durante la quale viene espresso un giudizio di idoneità, che può subire delle modifiche nel corso del *follow-up* (ogni sei mesi per questi lavoratori). Può essere disposto anche l'allontanamento. Ogni lavoratore viene dotato di un documento sanitario personale che va periodicamente aggiornato e conservato fino all'età di 75 anni o comunque 30 anni dopo la cessazione dell'attività che determina l'esposizione a radiazioni ionizzanti. Esiste, inoltre, una

sorveglianza sanitaria eccezionale qualora vengano superati i limiti previsti per ciascuna categoria di lavoratori.

Nel caso di superamento dei limiti di esposizione (art. 96), gli incidenti vanno comunicati entro tre giorni. Gli Enti competenti sono l'ISPRA, la Direzione Provinciale del Lavoro e gli organi del Sistema Sanitario Nazionale. Le malattie professionali vanno comunicate dal medico, entro tre giorni dalla diagnosi, alla Direzione Provinciale del Lavoro. Nel caso di neoplasia deve essere inviata copia all'INAIL la refertazione medica da parte del medico che l'ha diagnosticata.