Firmato digitalmente da:
MASSARO DAVID
Firmato il 14/12/2020 11:51
Seriale Certificato: 18426883
Valido dal 21/05/2020 al 21/05/2023
InfoCert Firma Qualificata 2

VERIFICHE DI BUON FUNZIONAMENTO STRUMENTAZIONE PER CONTROLLI RADIOMETRICI DI ROTTAMI METALLICI SECONDO UNI 10897:2016

STRUMENTAZIONE PORTATILE

La revisione della norma UNI 10897 di marzo 2016 ha introdotto le seguenti novità relative alle verifiche di buon funzionamento della strumentazione portatile.

Viene istituita una carta di controllo per ogni strumento da parte di un esperto qualificato di II o III grado ai sensi del D.Lgs. 230/95:
- la carta di controllo è un modulo di registrazione in cui si riporta l'esito della lettura strumentale con la sorgente e lo si raffronta con l'intervallo di accettabilità definito;
- l'intervallo di accettabilità entro cui deve rientrare la misura effettuata con lo strumento è definito dall'esperto qualificato e inserito nella carta di controllo;
- la carta di controllo e quindi l'intervallo di accettabilità vengono aggiornato dall'esperto qualificato con frequenza almeno annuale e, comunque, dopo ogni manutenzione effettuata sullo strumento.

A questo punto la verifica dello strumento va effettuata nel seguente modo:

1. Si sceglie un luogo dove eseguire sempre la prova dello strumento
2. Si esegue una misura del fondo ambientale ed il valore misurato va inserito nella carta di controllo
3. Si posizione la sorgente di prova davanti allo strumento, tenendo presente che la sorgente deve essere messa sempre nello stesso modo (geometria ripetibile). La sorgente di prova nel nostro caso è un mattone di tufo. Il valore misurato va inserito nella carta di controllo.
4. Si esegue il calcolo del valore netto (sottraendo il valore misurato con la sorgente il valore del fondo ambientale) e lo si riporta nella carta di controllo
5. si verifica che il risultato ottenuto rientri tra i valori soglia (valore massimo e valore minimo accettabile) indicati nella parte compilata dall'esperto qualificato

La verifica di buon funzionamento va effettuata prima di ogni utilizzo giornaliero dello strumento da parte del personale formato e addestrato.

MCF Ambiente Srl
Cap. sociale € 50.000 i.v.,
via C. Colombo, 127
33037 Pasian di Prato (UD)

tel. 0432/644018
fax 0432/644091
partita iva: 01998810301
e-mail: mcfcolomello@iol.it

VERIFICHE DI BUON FUNZIONAMENTO STRUMENTAZIONE PER CONTROLLI RADIOMETRICI DI ROTTAMI METALLICI SECONDO UNI 10897:2016

STRUMENTAZIONE FISSA (PORTALE)

La revisione della norma UNI 10897 di marzo 2016 ha introdotto le seguenti novità relative alle verifiche di buon funzionamento della strumentazione fissa (portale):

Istituzione di una carta di controllo per ogni pannello del portale da parte di un Esperto qualificato di II o III grado ai sensi del D.Lgs. 230/95:

- la carta di controllo è un modulo di registrazione (cartaceo o elettronico) in cui si riporta l'esito della lettura strumentale con la sorgente e lo si raffronta con l'intervallo di accettabilità definito;
- l'intervallo di accettabilità entro cui deve rientrare la misura effettuata con lo strumento è definito dall'esperto qualificato e inserito nella carta di controllo;
- la carta di controllo (e quindi l'intervallo di accettabilità) viene aggiornata dall'esperto qualificato con frequenza almeno annuale e, comunque, dopo ogni manutenzione effettuata sullo strumento.

A questo punto la verifica dello strumento va effettuata nel seguente modo:

1. Si esegue una misura del fondo ambientale ed il valore misurato da ogni singolo rivelatore del sistema va inserito nella carta di controllo
2. Si posizione la sorgente di prova davanti ad ogni rivelatore del sistema a portale, tenendo presente che la sorgente deve essere messa sempre nello stesso modo (geometria ripetibile). La sorgente di prova nel nostro caso è un mattone di tufo. Il valore misurato da ogni singolo rivelatore va inserito nella carta di controllo nell'apposito spazio.
3. Si esegue il calcolo del valore netto (sottraendo il valore misurato con la sorgente il valore del fondo ambientale) per ogni rivelatore e lo si riporta nella carta di controllo
4. si verifica che il risultato ottenuto rientri tra i valori soglia (valore massimo e valore minimo accettabile) indicati nella parte compilata dall'esperto qualificato

La verifica di buon funzionamento dei sistemi fissi a portale va effettuata con cadenza bimestrale da parte del personale formato e addestrato.

CORSO DI FORMAZIONE
PER OPERATORI DI MISURA DELLA RADIOATTIVITÀ
SU ROTTAMI METALLICI

BIELLE METALLI Srl

SOMMARIO

1. Principi di radioprotezione
2. Effetti biologici delle radiazioni
3. Misure radiometriche su rottame metallico

dott. Stefano Colonnello
Esperto qualificato in radioprotezione
Pasian di Prato (UD)

GENNAIO 2012

MCF Ambeinte Srl
Via C. Colombo, 127
33037 Pasian di Prato (UD)
Tel. 0432-644018

CORSO DI FORMAZIONE PER OPERATORI DI MISURA DELLA RADIOATTIVITÀ SU ROTTAMI METALLICI

dott. Stefano Colonnello, Esperto qualificato in radioprotezione

Modulo 1. Principi di radioprotezione

Indice

A	Obiettivi
B	Atomi
C	Ionizzazione
D	Radiazione
E	Unità
F	Radiazione di fondo
G	Limiti di dose
H	ALARA

A. Obiettivi

In questo modulo ci si propone di fornire ai partecipanti al corso gli elementi per comprendere i principi fondamentali di radioprotezione essenziali per la sicurezza in radiografia industriale. Al termine del modulo i partecipanti saranno in grado di:

1. Definire la struttura di atomi e ioni.
2. Definire le radiazioni ionizzanti.
3. Identificare le sorgenti di radiazioni di fondo.
4. Definire i limiti di dose
5. Descrivere il principio ALARA.
6. Elencare i tre principali metodi per la riduzione dell'esposizione esterna.

B. Atomi

L'atomo, costituente di base della materia, è composto da tre particelle fondamentali:

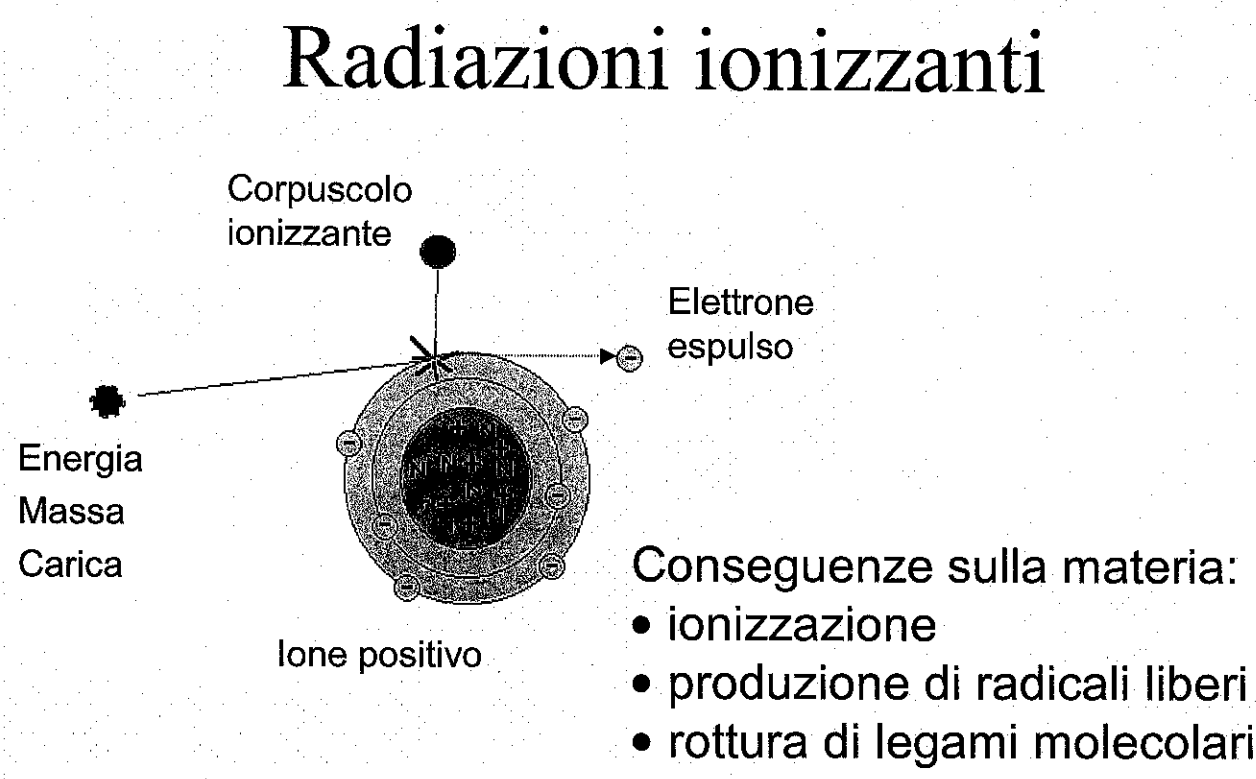
- protoni
- neutroni

- elettroni

Protoni e neutroni si trovano nel nucleo dell'atomo, mentre gli elettroni orbitano intorno al nucleo.
I protoni hanno una carica elettrica positiva; i neutroni sono senza carica (neutri); gli elettroni hanno una carica negativa. Il numero di elettroni determina il modo in cui l'atomo interagisce chimicamente con altri atomi per formare le molecole.

C. Ionizzazione

In condizioni normali, un atomo ha un numero di elettroni uguali al numero dei protoni nel suo nucleo ed è pertanto elettricamente neutro. Un atomo o una particella atomica carica, chiamato ione, può avere una carica positiva o negativa. Una coppia di ioni può essere creata quando una radiazione elettromagnetica o una particella interagisce con un elettrone orbitante intorno al nucleo e lo espelle dalla sua orbita: questo processo è chiamato ionizzazione. La coppia di ioni risultante da questa interazione è costituita da un atomo caricato positivamente e dall'elettrone espulso che è caricato negativamente.



D. Radiazione

Ai fini della protezione dalle radiazioni, la ionizzazione è importante perché influisce sui processi chimici e biologici e, d'altro canto, permette la rivelazione delle radiazioni.
Le radiazioni sono energia o particelle emesse in conseguenza di processi nucleari o atomici. Esempi di questi processi includono il decadimento nucleare e le interazioni di particelle con i nuclei atomici. I tipi più comuni di radiazioni sono i seguenti:

- Radiazione Alfa
- Radiazione Beta
- Radiazione Gamma e X

Se la radiazione ha energia sufficiente a provocare ionizzazione, si dirà che è ionizzante.
Le radiazioni ionizzanti si propagano nel vuoto senza mutare le proprie caratteristiche: quando attraversano un mezzo materiale (solido, liquido, aeriforme) trasferiscono la loro energia, in tutto o in parte, alle molecole che costituiscono il mezzo.
Si dice anche che, a seguito di interazioni con il mezzo materiale, le radiazioni ionizzanti vengono assorbite. Tre sono le caratteristiche principali che determinano il potere di ionizzazione delle radiazioni: energia, carica elettrica e massa.
Esiste un'energia minima trasportata da ciascun corpuscolo sotto la quale non può avvenire la ionizzazione della materia per quanto numerosi siano i corpuscoli che l'attraversano. Ad esempio, le radiazioni elettromagnetiche come onde radio, microonde, radiazioni infrarosse, luce visibile e raggi ultravioletti, non sono ionizzanti per quanto intense siano le loro sorgenti. Al contrario, anche un solo fotone della radiazione X è in grado di produrre ionizzazione nella materia.

E. Unità di misura

Bisogna distinguere tra grandezze che definiscono le sorgenti di radiazione e quelle che ne descrivono le radiazioni emesse e le relative interazioni con la materia.
Per "**sorgente di radiazioni ionizzanti**" si intende un qualsiasi apparecchio o sostanza o fenomeno che emetta radiazioni ionizzanti. Come vedremo in dettaglio nel paragrafo seguente, sorgenti di radiazioni "naturali" sono lo spazio (con i "raggi cosmici") e gli elementi radioattivi naturali contenuti nelle rocce; radioattivi sono i cibi che mangiamo, le pareti delle case... Sorgenti di radiazioni artificiali sono i generatori di raggi X, gli impianti nucleari, le macchine acceleratrici, alcune sorgenti radioattive prodotte artificialmente, ecc..
Ci sono grandezze che definiscono una sorgente artificiale di radiazioni ionizzanti. Per esempio, se consideriamo un generatore di raggi X, si usa indicare la corrente e la tensione di alimentazione; per un anello di accumulazione come il nostro, si considera l'energia del fascio e la corrente accumulata.
Per gli elementi radioattivi, cioè quelle sostanze i cui nuclei sono instabili e decadono emettendo radiazioni ionizzanti, la quantificazione della sorgente è espressa attraverso il concetto di **attività**. L'attività di una sostanza radioattiva è definita come il numero di nuclei della sostanza che si disintegrano in un secondo(*). L'unità di misura più vecchia è il **Curie** (Ci).
1 Ci = 3.7 * 1010 disintegrazioni/secondo
La nuova unità di misura introdotta nel Sistema Internazionale (SI) è il **Bequerel** (Bq):
1 Bq = 1 disintegrazione/secondo
da cui si ottiene:
1 Ci = 3.7 * 1010 Bq
Per quantificare le radiazioni emesse, o meglio, il campo di radiazione dovuto ad una certa sorgente, si utilizzano grandezze quali: il tipo di particelle emesse (massa, carica elettrica, ecc.), l'energia, la fluenza (ossia il numero di particelle per unità di superficie) e la densità di flusso (numero di particelle per unità di superficie al secondo).
E' poi necessario quantificare il danno biologico delle radiazioni sugli organismi. La grandezza che per prima è stata introdotta dai radiobiologi a questo scopo è la **dose assorbita,** definita come *energia depositata dalla radiazione nel materiale irradiato* (in genere tessuto) *per unità di massa dello stesso*. La più antica unità di misura per la dose assorbita è il **rad**:
1 rad = 100 erg/g
Ora, nel sistema SI, è stata sostituita dal **gray** (Gy):
1 Gy = 1 Joule/Kg
La relazione fra le due unità di misura è semplicemente:
1 Gy = 100 rad
Sottomultipli di uso comune sono: 1 Gy = 1000 mGy = 1000000 microGy

Studi più dettagliati sugli effetti delle radiazioni hanno dimostrato che l'effetto non è correlato solamente all'energia depositata ma dipende dal tipo di radiazione e dalla sua energia: bisogna infatti considerare la modalità con cui l'energia viene assorbita a livello microscopico. In altre parole 10 rad dovuti a raggi X di 100 keV non producono lo stesso effetto di 10 rad di neutroni anche della stessa energia.
Per tenere conto di questo si è introdotto il concetto di "**fattore di qualità della radiazione**" (Q) e la grandezza che si considera nella radioprotezione diventa l'"**equivalente di dose**" (H) legata alla dose assorbita (D) dalla relazione:
Equivalente di dose (H) = fattore di Qualità (Q) * dose assorbita (D)
[Q è una grandezza adimensionale]. A titolo di esempio, Q=1 per elettroni, raggi X e gamma di tutte le energie, Q varia da 5 a più di 20 per neutroni e protoni, Q = 20 per particelle alfa.
L'unità di misura più antica dell'equivalente di dose è il **rem**:
1 rem = 100 erg/g
Ora, nel sistema SI, è stata sostituita dal **Sievert** (Sv):
1 Sv = 1 Joule/Kg
La relazione fra le due unità di misura è semplicemente:
1 Sv = 100 rem
Sottomultipli di uso comune sono: 1 Sv = 1000 m Sv = 1000000 micro Sv

Il **rateo di dose assorbita** ed il **rateo di equivalente di dose** esprimono le intensità temporali d'irradiazione e le unità comuni sono Gy/ora nel primo caso, e Sv/ora nel secondo. Molto spesso si usa parlare genericamente di "rateo di dose" o "dose" in Sv/ora o Sv sottointendendo il termine: "equivalente di ...".

F. Radiazione di fondo

La radiazione di fondo, alla quale ogni individuo è esposto, proviene da sorgenti sia naturali che artificiali. Le più comuni sorgenti naturali di radiazione sono i raggi cosmici, i radionuclidi naturali contenuti nel terreno e negli oggetti circostanti, il gas radioattivo radon. Le più comuni sorgenti artificiali di radiazione sono le esposizioni mediche e le sostanze radioattive contenute nei prodotti di consumo.
La dose media annuale dovuta alla radiazione di fondo è di circa 3.6 mSv al corpo intero. Le sorgenti naturali contribuiscono con:

- 2.0 mSv per anno dal radon;
- 0.4 mSv per anno dai radionuclidi naturali contenuti nel corpo umano (potassio-40);
- 0.3 mSv per anno dalle radiazioni cosmiche;
- 0.3 mSv per anno dai radionuclidi naturali contenuti nel terreno come l'uranio e il torio.

Il **radon** è un gas radioattivo prodotto nel decadimento di elementi della catena dell'uranio presenti nel suolo, nei calcestruzzi, ecc.. All'aria aperta si disperde nell'ambiente, ma all'interno delle case si concentra. La concentrazione di radon nelle abitazioni dipende fortemente dai materiali impiegati in edilizia e può variare di diversi ordini di grandezza (da un'indagine condotta in Gran Bretagna risulta che la dose annua dovuta alla presenza di radon nelle abitazioni varia da **300 µSv** a **100.000 µSv**). Il valore medio si aggira attorno **2000 µSv**.
Quando un elemento radioattivo viene ingerito, se non viene immediatamente espulso, si fissa in qualche organo e continua ad emettere radiazioni dall'interno del corpo provocando un'irradiazione interna. L'isotopo radioattivo naturale più abbondante nei cibi è il potassio-40. L'irradiazione corrispondente è di circa **400 µSv** annui.
I raggi cosmici sono radiazioni ionizzanti (raggi gamma, muoni, neutroni, ecc.) provenienti dallo spazio. Si tratta di una radiazione penetrante (attraversa facilmente il soffitto delle case!!) la cui intensità cresce con l'altitudine. L'incremento con l'altitudine rispetto al livello del mare della dose dovuta ai raggi cosmici è riportato in tabella 1.
L'equivalente di dose medio annuo a livello del mare dovuto a questa componente d'irradiazione è di circa **300 µSv**.

Tabella 1. Incremento con l'altitudine della dose dovuta ai raggi cosmici:

Altitudine	Rateo di equivalente di dose
15 Km (rotta jet)	10 μSv/ora
10 Km	5 μSv/ora
6.7 Km (Himalaya)	1 μSv/ora
2 Km	0.1 μSv/ora
livello del mare	0.03 μSv/ora

I **raggi gamma** provenienti dagli **elementi radioattivi** presenti nel suolo contribuiscono con una dose annua che dipende fortemente dal tipo di terreno (varia tra 200 e 1000 μSv); il suo valore medio è circa **300 μSv**

Le sorgenti artificiali contribuiscono in media 0.6 mSv per anno principalmente a causa delle esposizioni mediche. Un esame al torace, ad esempio, impartisce una dose di 0.1 - 0.2 mSv, una radiografia dentale 0.5 – 3 mSv, una mammografia 5 – 20 mSv. Ma, poiché solo una parte del corpo è irradiata, la dose efficace è una frazione di questi valori.

G. Limiti di dose

I limiti di dose per i lavoratori esposti sono stabiliti sulla base degli effetti biologici delle radiazioni. La Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni (ICRP) fornisce le direttive e le raccomandazioni per un sistema efficace di radioprotezione. La Legislazione italiana ha recepito le raccomandazioni della Commissione con il Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e con la sua più recente revisione dettata dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241, che tra l'altro stabilisce i limiti di dose per i lavoratori esposti e la popolazione. Questi limiti sono stabiliti in modo da evitare con ampio margine di sicurezza l'insorgenza di qualsiasi effetto nocivo *immediato* sulla salute dell'uomo. I limiti di dose sono i seguenti:

Lavoratori esposti	
Corpo intero	20 mSv in un anno solare
Cristallino	150 mSv in un anno
Pelle	500 mSv in un anno
Estremità	500 mSv in un anno

Persone del pubblico	
Corpo intero	1 mSv in un anno solare
Cristallino	15 mSv in un anno
Pelle	50 mSv in un anno
Estremità	50 mSv in un anno

H. ALARA

Non vi sono certezze sugli effetti di una esposizione cronica a basi livelli di radiazioni ionizzanti. Si assume tuttavia che il rischio esista anche per dosi minime (rischio proporzionale alla dose). Non essendovi soglia al di sotto della quale le radiazioni non abbiano effetti nocivi, è quindi di interesse ridurre comunque le dosi, tenendo in considerazione tutti i vincoli di natura economica e sociale. Ciò significa che qualsiasi risparmio di dose si traduce in una diminuzione del rischio di effetti nocivi, ma che questa riduzione deve essere raggiunta con mezzi ragionevoli e non sproporzionati allo scopo.

CORSO DI FORMAZIONE PER OPERATORI DI MISURA DELLA RADIOATTIVITÀ SU ROTTAMI METALLICI

dott. Stefano Colonnello, Esperto qualificato in radioprotezione

Modulo 2. Effetti biologici delle radiazioni

Indice

A	Obiettivi
B	Le radiazioni ionizzanti
C	Effetti biologici della ionizzazione
D	Fattori che determinano gli effetti biologici
E	Effetti somatici
F	Effetti genetici

A. Obiettivi

In questo modulo ci si propone di fornire ai partecipanti al corso gli elementi per conoscere quali sono gli effetti biologici dei raggi X e l'importanza delle misure protettive per lavorare con i raggi X o in ambienti ove vi sono raggi X. Al termine del modulo i partecipanti saranno in grado di:

1. Identificare i fattori che determinano gli effetti biologici di un'esposizione ai raggi X.
2. Conoscere le differenze tra una lesione termica o da raggi X.
3. Riconoscere i segni e i sintomi di una irradiazione acuta da raggi X.
4. Spiegare gli effetti di una esposizione cronica ai raggi X.
5. Conoscere la differenza tra effetti somatici ed ereditari.

B. Le radiazioni ionizzanti

I principali tipi di radiazioni e/o particelle sono:

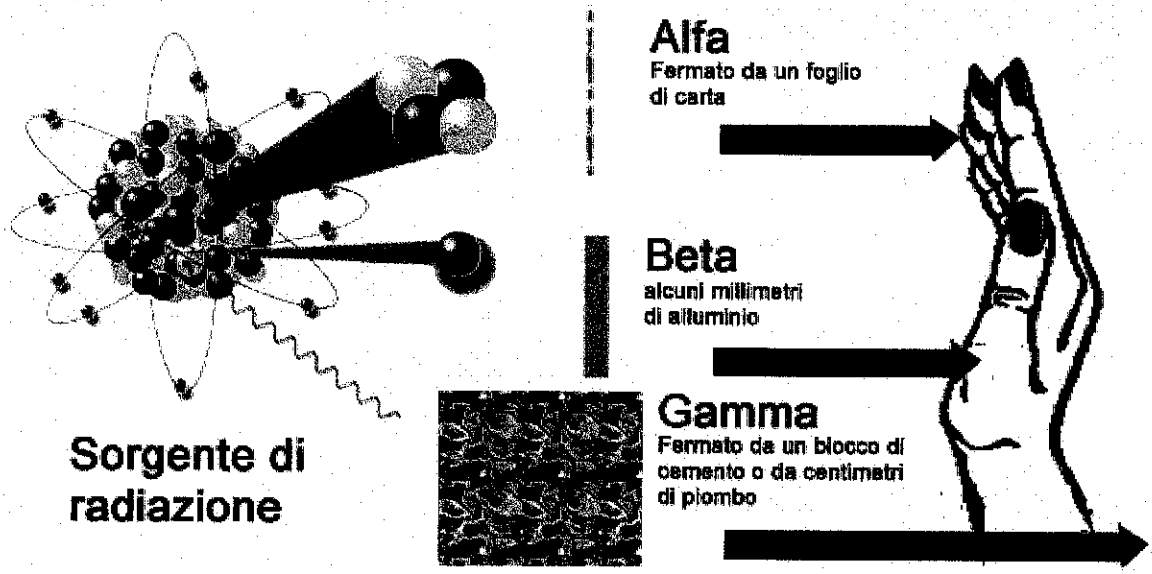
alfa

beta

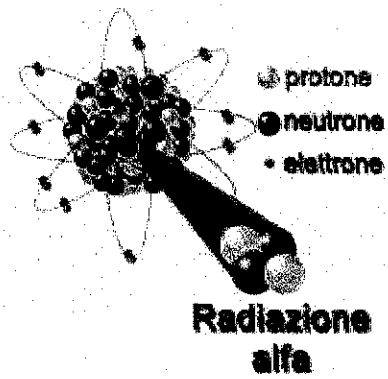
gamma

neutroni

Questi tipi di radiazioni e/o particelle hanno proprietà e comportamenti differenti. In particolare diverso è il potere di penetrazione e l'energia che rilasciano durante il loro passaggio nei differenti materiali. Nel caso dei tessuti biologici tale interazione può portare a un danneggiamento delle cellule. Nella maggior parte dei casi il danno viene riparato dai normali meccanismi di difesa dell'organismo ma, a volte, in funzione anche dell'entità e della durata dell'esposizione, le cellule interessate possono risultare compromesse, con conseguenze sulla salute degli individui esposti.

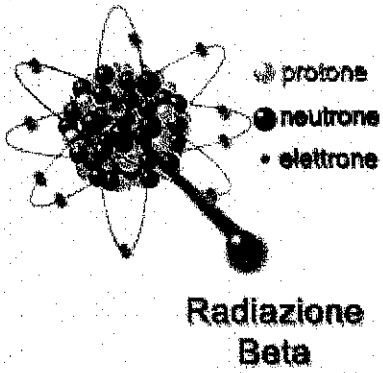


Radiazioni alfa



Le radiazioni alfa sono nuclei di elio (He), costituite quindi da due protoni e due neutroni. Ad esempio l'isotopo 226 del radio (Ra-226), instabile, che ha un tempo di dimezzamento di circa 1600 anni, durante il suo processo di trasformazione verso forme più stabili, emette questo tipo di radiazioni trasformandosi nell'isotopo 222 del radon (Rn-222).

Radiazioni beta



Esistono due tipi di radiazioni beta: b+ e b-, costituite rispettivamente da elettroni o positroni (elettroni con carica positiva) e sono prodotte a seguito di due tipi di trasformazioni nucleari:

- un neutrone si trasforma in un protone (con carica positiva) e in un elettrone che viene espulso dal nucleo. (Affinché il processo

sia fisicamente possibile viene espulso anche un antineutrino). Il numero di protoni aumenta e quindi l'atomo si trasforma in un elemento diverso (ossia con un numero atomico diverso), come mostrato nell'esempio:

	Carbonio-14	**Azoto-14**	+ **elettrone (beta)**
Numero atomico	6 protoni	7 protoni	
	8 neutroni	7 neutroni	

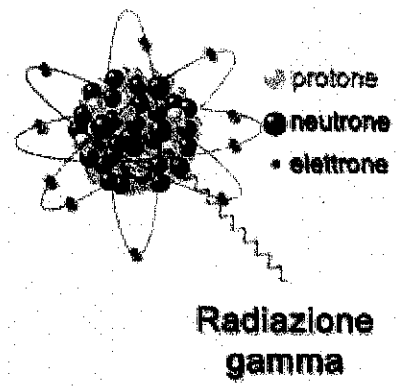
un protone si trasforma in un neutrone (con carica neutra) e in un positrone che viene espulso dal nucleo. (Affinché il processo sia fisicamente possibile viene espulso anche un neutrino). Il numero di protoni diminuisce e quindi l'atomo si trasforma in un elemento diverso (ossia con un numero atomico diverso), come mostrato nell'esempio:

	Carbonio-10	**Boro-10**	+ **positrone (beta+)**
Numero atomico	6 protoni	5 protoni	
	4 neutroni	5 neutroni	

Le radiazioni beta hanno energie inferiori a quelle delle radiazioni alfa. A causa alla presenza del neutrino (o dell'antineutrino), le particelle beta vengono emesse con uno spettro continuo in energia, caratterizzato da una energia massima. Questa varia da alcune migliaia di elettron volt (KeV) fino ad alcuni milioni di elettron volt (MeV). Poiché la loro massa è inferiore rispetto alle alfa, il loro potere penetrante è superiore: alcuni metri in aria, alcuni millimetri nei tessuti biologici.

Radiazioni gamma

Le radiazioni gamma sono costituite da radiazione elettromagnetica emessa da un nucleo instabile durante il suo decadimento. Ad esempio il cesio 137 (Cs-137) decade nel bario137 che si trova in uno stato eccitato definito metastabile (Ba-137m). Il Ba-137m si trasforma nello stato stabile attraverso emissione di radiazione gamma:



Ba-137m => Ba-137 + radiazione gamma

Le energie delle radiazioni gamma variano generalmente da alcune decine di migliaia di elettron volt (keV) fino a circa 2000 keV.
Essendo prive di massa il loro potere penetrante è molto superiore rispetto alle radiazioni alfa e alle radiazioni beta: fino a centinaia di metri in aria, attraversano facilmente il corpo umano e sono fermate da alcuni centimetri di piombo o decimetri di cemento.

Neutroni

I neutroni sono, insieme ai protoni, particelle che costituiscono il nucleo degli atomi. Le più importanti sorgenti di neutroni sono costituite dai reattori nucleari che sfruttano i processi di fissione per la produzione di energia.

Ad esempio la reazione di fissione nucleare per l'uranio 235 è così schematizzabile:

$n + {}^{235}U \quad => \quad X + Y + 2{,}5n + \text{energia}$

in cui X ed Y indicano generici prodotti di fissione, e 2,5 sono i neutroni (in media) liberati. Alcuni prodotti di fissione si trovano in uno stato altamente eccitato e possono, a loro volta, emettere altri neutroni per decadimento come ad esempio nel caso del kripton 87:

$Kr^{87} \quad => \quad Kr^{86} + n$

Le energie dei neutroni all'interno dei reattori variano da meno di 0,1 elettron volt (eV) fino a circa 10 MeV.
L'assenza di carica elettrica dà ai neutroni un elevato potere di penetrazione della materia dipendente dalla loro energia. In natura i neutroni sono presenti per effetto delle interazioni nucleari delle particelle o radiazioni presenti nel cosmo con l'atmosfera.

C. Fattori che determinano gli effetti biologici

Molteplici sono i fattori che possono determinare gli effetti biologici di un'esposizione ai raggi X:

- intensità di dose
- dose totale assorbita
- energia delle radiazioni
- area esposta del corpo
- sensibilità delle cellule
- sensibilità individuale

Intensità di dose. L'irradiazione può essere cronica o acuta. Nel primo caso, la dose è ricevuta nell'arco di un periodo lungo (mesi o anni), mentre una dose acuta viene assorbita in un periodo breve (da secondi a giorni). Per una stessa dose, una dose acuta provoca maggiori danni di una cronica poiché le cellule non hanno il tempo di riparare i danni causati da successive ionizzazioni. Nel caso di una irradiazione acuta una cellula può subire contemporaneamente l'effetto di più ionizzazioni e gli effetti sono perciò cumulativi.

Dose totale assorbita. Maggiore è la dose totale assorbita, più gravi sono gli effetti osservati. Gli effetti di una dose acuta superiore a 1 Gy sono manifesti. Invece, i segni e i sintomi di una dose acuta di 0.1-0.25 Gy non sono facilmente osservabili.
Anche gli effetti di una dose cronica sono difficili da osservare, anzi finora non è stato possibile osservarli; si assume tuttavia, non senza fondamento, ma certo con prudenza, che più alta è la dose, maggiore è il rischio di contrarre il cancro o altri effetti a lungo termine.

Energia delle radiazioni. Più elevata è l'energia dei raggi X, più profondamente questi penetrano nei tessuti del corpo umano e più alta è la probabilità di provocare danni agli organi interni, alle ossa e soprattutto al midollo osseo ove si produce il sangue. Le radiazioni più molli sono assorbiti quasi completamente nei primi centimetri di tessuto e causano danni alla pelle, ma non agli organi interni.

Area esposta del corpo. Così come avviene per le ustioni, maggiore è l'area esposta alle radiazioni, e maggiore sarà il danno. Una irradiazione alle sole estremità provocherà meno danni di un'irradiazione al corpo intero; inoltre sarà più difficile per il corpo riparare i danni.

Sensibilità delle cellule. Alcune cellule sono più sensibili alle radiazioni di altre. Le cellule che sono sensibili alle radiazioni vengono dette radiosensibili; le cellule meno sensibili vengono definite radioresistenti. Le cellule più radiosensibili sono quelle non-specializzate, come lo spermatozoo o l'ovulo, e tutte le cellule che si riproducono rapidamente, come il follicolo del capello e le cellule gastrointestinali. Cellule non-specializzate (mature) o cellule meno attive, come l'osso, il muscolo o il cervello, sono più radioresistenti.

Sensibilità individuale. Alcuni individui sono più sensibili alle radiazioni di altri. L'età, il sesso, lo stile di vita e lo stato di salute generale hanno un effetto su come il corpo risponde all'esposizione alle radiazioni.

D. Effetti somatici

Gli effetti somatici sono gli effetti biologici che colpiscono l'individuo esposto alle radiazioni. Gli effetti somatici possono essere dovuti sia a irradiazione cronica che acuta.
Effetti immediati. Gli effetti immediati o precoci sono tipici di condizioni di irradiazione forte e di breve durata, che si ritrovano, per esempio, in incidenti o infortuni. Alcuni effetti immediati clinicamente rilevabili per singoli organi ed apparati corporei riguardano:

- Cute. Se la cute è colpita dalle radiazioni e riceve una dose elevata si arrossa (eritema). Nelle comuni condizioni della pratica radiologica medica si ha un eritema di intensità media a seguito di esposizione a 3-4 Gy.
- Capelli, barba, peli. Per dosi di 3,5 - 4,0 Gy si ha la caduta temporanea di queste formazione cutanee. I peli cutanei, per dosi poco superiore a 2,0 Gy di radiazioni molli, cadono dopo 15 - 20 giorni dall'irradiazione .
- Tessuti emopoietici. I tessuti emopoietici sono costituiti dai tessuti linfatici (che producono linfociti) e dal midollo osseo rosso (o midollo emopoietico, che produce granulociti, monociti, eritrociti e piastrine). Linfociti, granulociti e monociti costituiscono i leucociti o globuli bianchi; gli eritrociti sono detti anche globuli rossi. Globuli rossi, globuli bianchi e piastrine sono gli "elementi figurati" del sangue, sospesi nel "plasma"; essi si rinnovano di continuo, perché di continuo una loro frazione viene distrutta e rimpiazzata da nuovi arrivi dei tessuti emopoietici. Il tempo di rinnovo è diverso per gli elementi figurati. Sia i tessuti linfatici che il midollo osseo rosso sono presenti in varie parti del corpo. Se il corpo intero viene irradiato con radiazioni penetranti compare la riduzione dei globuli bianchi (leucopenia) e dei globuli rossi (anemia) circolanti nel sangue. I tessuti linfatici sono tra i più sensibili alle radiazioni, anche dopo modeste dosi al corpo intero, (dell'ordine di qualche mGy) il numero di linfociti si riduce temporaneamente. Il midollo osseo rosso è anch'esso molto sensibile alle radiazioni ma un po' meno dei tessuti linfatici; il numero dei granulociti diminuisce dopo irradiazioni del corpo intero (dell'ordine di diversi mGy) ma in un tempo successivo a quello della riduzione dei linfociti, il numero delle piastrine e degli eritrociti pure diminuisce ma ancor più tardi e per dosi maggiori.

Effetti tardivi. Questi effetti, che si manifestano dopo anni, talora decenni dall'irradiazione, sono a carattere probabilistico (stocastico), del tipo "tutto o niente", qualunque sia stata la dose e la loro manifestazione non richiede il superamento di un valore-soglia.
Gli effetti probabilistici sono rappresentati da leucemia e tumori maligni.
Questi effetti sono stati osservati sull'uomo dopo esposizione al corpo intero a qualche decimo di Gy o dopo esposizione di parte corporee a qualche Gy, ricevuti in una sola volta o più volte, ma per lo più entro un tempo relativamente breve (qualche settimana). Le leucemie compaiono tra i 3 e i 15 anni dopo l'irradiazione. Altri forme tumorali maligne (carcinoma mammari, cutanei, polmonari e tiroidei, sarcomi ossei) compaiono tra i 10 e i 30 dall'irradiazioni.
In via cautelativa si presume che ogni dose, seppur piccola, comporti il rischio di un effetto tardivo con legge proporzionale: a una dose doppia corrisponde un rischio doppio.
Attualmente la probabilità di manifestazione di un effetto tardivo letale è stimata in un rapporto di 5/100.000 per ogni mSv assorbito dal corpo interno.

E. Effetti genetici

Gli effetti sulla prima generazione possono essere dovuti all'azione delle radiazioni sui tessuti embrionali o sugli organi fetali oppure come conseguenza di danni sulle cellule germinali dei genitori. In sintesi essi possono essere danni somatici sul prodotto del concepimento oppure danni genetici che si manifestano nel prodotto di concepimento. Nel primo mese di gravidanza dosi di alcuni decimi di Gy ricevuti sull'embrione possono talvolta provocare l'aborto, che diviene più probabile per dosi maggiori.
Sul finire del primo mese e fino alla prima parte del terzo mese, dosi dell'ordine di decimi di Gy all'embrione non sono abortive ma assai temibili perché colpiscono il prodotto del concepimento mentre si stanno formando gli organi e gli apparati corporei. Si possono verificare, con probabilità molto alte, varie malformazioni.
Dalla seconda parte del terzo mese e fino al termine della gravidanza, dosi dell'ordine dei decimi di Gy non provocano né aborti né malformazioni ma sono capaci di indurre effetti tardivi a carattere probabilistico nei primi anni di vita del nascituro.

CORSO DI FORMAZIONE PER OPERATORI DI MISURA DELLA RADIOATTIVITÀ SU ROTTAMI METALLICI

dott. Stefano Colonnello, Esperto qualificato in radioprotezione

Modulo 3. Misure radiometriche sul rottame mettalico

Indice

A Generalità
B Tipi di sorgenti ritrovate nel rottame
C Metodologia dei controlli e strumentazione

A. Generalità

Le sorgenti di radiazioni possono essere di tipi diversi a seconda del tipo di radiazione emessa. La legge italiana, per portare un esempio, classifica circa 760 diversi radioisotopi, suddividendoli in quattro gruppi con diverso carattere di pericolosità. Per semplicità, e limitando le citazioni ai radioisotopi più comunemente ritrovati nel rottame metallico, parleremo di:

gamma-emettitori (esempio: ^{60}Co, ^{137}Cs, ^{226}Ra): emettono una radiazione penetrante che può attraversare spessori anche considerevoli di acciaio ed è facilmente evidenziabile da un'ampia gamma di strumenti di misura;

beta-emettitori (esempio: ^{90}Sr; ^{85}Kr): emettono elettroni (raggi beta) i quali possono percorrere tratti molto brevi all'interno del metallo. La radiazione beta è facilmente assorbita anche dall'aria, per cui la sua rilevazione è generalmente difficile. Con strumentazione adeguata è possibile rilevare i raggi X di *Bremßtrahlung* emessi dagli elettroni rallentati nella materia.

alfa-emettitori (esempio: ^{241}Am, ^{235}U): molti degli isotopi di questa categoria emettono anche raggi gamma o X in modo tale che la loro identificazione avviene attraverso di essi. La radiazione alfa è estremamente poco penetrante, per cui non è nemmeno pensabile una sua rilevazione diretta. In associazione con il Be, l'isotopo ^{241}Am viene utilizzato come sorgente di neutroni. Con strumentazione adeguata è possibile rilevare la presenza di questi ultimi.

La presenza della radiazione viene segnalata dall'interazione di questa con la parte sensibile dello strumento di misura.

Lo strumento di misura è costituito, come si è detto, da una parte sensibile che assorbendo l'energia della radiazione la trasforma in un segnale elettrico o luminoso, e da una parte elettronica che elabora i segnali provenienti dalla sonda di rilevazione e permette la lettura di un'informazione di tipo quantitativo.

Tra i vari tipi di sonde ricordiamo i contatori Geiger, le camere a ionizzazione, gli scintillatori plastici ed i rivelatori a stato solido. Nel caso di misure di laboratorio riguardanti alfa e beta emettitori, vengono anche utilizzati scintillatori di tipo liquido.

I diversi tipi di sonde risultano più o meno adatti alla rilevazione dei vari tipi di radiazioni, tenuto conto sia del loro carattere (beta, gamma o X), sia della loro energia. Non esiste, al momento attuale, un rilevatore con risposta costante su tutta la gamma di energie dai raggi X ai più alti valori dei gamma. Per questo motivo, se un particolare strumento può essere il più adatto per rilevare radiazione di un certo tipo, può essere assolutamente inadatto a misurare la radiazione di un altro.

La radiazione naturale è determinata dalla radioattività presente nel terreno e da quella prodotta dai *raggi cosmici*. Tralasciamo questi ultimi che nel nostro caso costituiscono un problema "minore". La radioattività del terreno è determinata dai radionuclidi "naturali" delle "famiglie" radioattive dell'uranio e del torio, presenti con concentrazioni diverse da luogo a luogo del pianeta, e dai radionuclidi artificiali depositati al suolo a seguito dei test nucleari in atmosfera o degli incidenti ad impianti nucleari che abbiano comportato il rilascio di radioattività nell'ambiente. In entrambi i casi la distribuzione spaziale può evidenziare variazioni notevoli anche su scala molto piccola. Di queste variazioni dovremo tenere conto al momento della misura, in modo da evitare di scambiare un incremento locale del fondo di radiazione con il campo generato da una sorgente interna alla scatola. Un altro elemento di disturbo sono gli eventuali fabbricati presenti nella zona, spesso ricchi di radioisotopi naturali, che determinano aumenti anche cospicui dei valori del fondo.

B. Tipi di sorgenti ritrovate nel rottame

Detto delle generalità sulle radiazioni e la loro misura, passiamo a vedere il problema specifico.

Possiamo classificare la tipologia delle sorgenti radioattive ritrovabili nel rottame metallico nel modo seguente:

a) sorgenti radioattive propriamente dette mescolate con il rottame;
b) sorgenti radioattive di tipo "improprio";
c) rottame di ferro ed acciaio contaminato da sorgenti inglobate in sede di fusione;
d) depositi di terriccio ad elevata radioattività.

A parte si considererà il caso di contaminazione inerente alla struttura del veicolo stesso.

Il caso a) rappresenta l'eventualità più rilevante dal punto di vista radioprotezionistico. L'impiego di sorgenti radioattive per scopi industriali, medici o di ricerca è più diffuso di quanto si ritenga comunemente. Sorgenti radioattive vengono utilizzate per la misura di spessori, per il controllo della omogeneità nei processi di colata, per l'analisi delle polveri, in alcuni tipi di parafulmini e rilevatori di fumo, per la calibrazione di strumenti di misura, oltre che per controlli di tipo industriale, in agricoltura e nella diagnostica e terapia medica.

Nel passato, inoltre, sorgenti radioattive venivano utilizzate anche nel settore cosmetico e nella fabbricazione di giocattoli, campi nei quali ora l'impiego è vietato in modo assoluto.

Le piccole dimensioni che possono avere sorgenti radioattive anche di elevata intensità fanno sì che, in generale, non sia facile individuare la loro presenza senza l'uso di appropriati strumenti di misura.

Nel caso di sorgenti di elevata intensità (principalmente sorgenti utilizzate in medicina e nell'industria), la presenza della sorgente viene evidenziata mediante l'apposito simbolo posto all'esterno del contenitore. Non sempre però il contenitore della sorgente appare in condizioni tali da permettere una chiara visione del simbolo (figura 1) e questo può adirittura essere assente. Sorgenti radioattive sono abbastanza comuni sulle navi, sugli aerei ed in generale su tutti i mezzi militari.

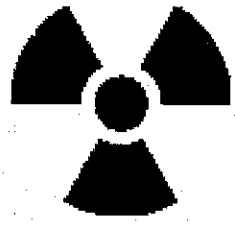


figura 1

Come si è detto il caso delle sorgenti propriamente dette è il più importante dal punto di vista radioprotezionistico. Essendo sorgenti preparate per essere usate in virtù della loro capacità di emettere radiazioni ionizzanti, la loro attività è generalmente elevata ed in molti casi, anche se la sorgente non appare più idonea per l'impiego originale, la sua pericolosità, se immessa nell'ambiente, può continuare ad essere cospicua. Tali sorgenti possono costituire un pericolo sia per il personale operante nei pressi dei veicoli adibiti al trasporto del rottame sia per il personale dell'impianto siderurgico al quale il rottame è destinato. Sorgenti di questo tipo possono determinare la contaminazione delle linee di colata ed il rilascio di radioisotopi nell'atmosfera con conseguente rischio di inalazione. La frequenza di incidenti di questo tipo negli Stati Uniti ha indotto già da diversi anni seri controlli sul rottame in entrata negli stabilimenti. Dal 1983 al 1993 la Conference of Radiation Control Program Directors, Incorporated Committee E23 (scorie metalliche radioattive) ha registrato 299 incidenti di cui 18 con consistenti perdite finanziarie per le compagnie coinvolte.
Le sorgenti della classe a) possono essere sia gamma-emittenti che beta-emittenti. Tra di esse vi sono anche sorgenti alfa-emittenti, ma in generale vengono utilizzate in quanto gamma o beta emettitori o produttori di neutroni. Nel corso dei controlli, sorgenti di questo tipo si manifestano in genere con la presenza di un punto di intensità di dose molto elevata circondato da una zona con valori via via decrescenti.

Nella classe b) vengono inserite sorgenti di tipo "improprio". In tale classe faremo rientrare quei dispositivi che utilizzano sostanze radioattive per scopi diversi da quelli elencati nella classe a); in particolare ci riferiamo ai quadranti luminescenti. Questo tipo di sorgenti, molto comune su mezzi e strumenti militari, è caratterizzato da livelli di attività in generale inferiori a quelli delle sorgenti della classe a); tuttavia, la rottura dei vetri protettivi e la fuoriuscita della sostanza luminescente determinano un rischio di contaminazione interna dovuta all'inalazione della polvere radioattiva. Per quanto riguarda le caratteristiche di ritrovamento esse sono le medesime della classe a).

La classe c) comprende rottame contaminato. Tale contaminazione è quasi solamente dovuta al ^{60}Co che, in caso di fusione nella colata, va a legarsi con il metallo. Altri possibili isotopi possono essere quelli del cromo, ferro, iridio, molibdeno, nichel, platino ed argento. I rottami di rame, zinco e piombo possono contenere solamente radioisotopi dello stesso elemento, in quanto il processo produttivo di questi materiali è attentamente controllato per garantire metallo di alto grado di purezza. Un'eccezione è costituita dall'alluminio, il quale può essere contaminato con uranio. Questo tipo di sorgente determina, in genere, il ritrovamento sulle pareti del veicolo di zone piuttosto ampie con intensità di dose non molto elevata. È piuttosto comune in questo caso rilevare la radiazione da entrambi i lati del veicolo.

Nel caso d), terriccio con valori elevati di radioattività, l'intensità di dose misurata non è in generale molto elevata ed appare principalmente nella parte bassa del veicolo, anche se non è da escludere la possibilità di trovare depositi ad ogni livello frammisti al rottame. Talvolta i punti di maggiore intensità si trovano proprio ponendo la sonda di rivelazione al di sotto del carro. È molto comune trovare la radioattività in più punti dello stesso veicolo.

I casi brevemente descritti non si devono intendere esaustivi della complessità del problema. Essi vogliono solamente tracciare una tipologia utile a chi debba eseguire questo tipo di controlli. Naturalmente ogni caso va analizzato e studiato in maniera indipendente e da personale di provata esperienza.

Come si è detto un caso a parte riguarda la contaminazione inerente al contenitore. Poiché non è plausibile una contaminazione inerente limitata ad un unica zona del veicolo, si deve considerare la possibilità di

contaminazione delle sponde, delle porte, o di entrambe. La distribuzione del radioisotopo è essenzialmente uniforme, per cui i valori di intensità di dose risulteranno simili in corrispondenza di tutta la parte interessata. Una tale distribuzione di campo non è compatibile con alcuna distribuzione interna di sorgenti , per cui si deve concludere che essa è relativa proprio alle pareti. Il controllo dei veicoli prima del carico permette di identificare questi casi con assoluta certezza.

C. Metodologia dei controlli e strumentazione

Controllo automatico

Per l'analisi della radioattività nel rottame metallico in ingresso allo stabilimento possono essere impiegati grandi sistemi fissi, denominati portali, composti da due pannelli affacciati (scintillatori plastici) attraverso i quali passa il carico di rottami.
Il sistema rileva automaticamente la presenza dei veicoli in transito mediante delle fotocellule, in modo da poter discriminare i conteggi del fondo ambientale da quelli dovuti al carico contenuto dall'automezzo. È importante che il veicolo si muova lentamente attraverso il sistema, in modo tale da ottenere la massima sensibilità di rivelazione. Questo tipo di sistemi di misura hanno una limitazione nella loro sensibilità di rinvenimento delle sorgenti radioattive dovuta allo spessore di rottame presente nel rottame.
Nel caso i veicoli impiegati per il trasporto siano molto grandi, con conseguente aumento degli spessori di ferro che possono schermare eventuali sorgenti nascoste all'interno del carico, può essere utile implementare ulteriori rivelatori da porsi sotto e sopra il carico, aumentando così le probabilità di rinvenimento.
I rivelatori a scintillazione impiegati per queste misure hanno una notevole sensibilità per i raggi □ anche di bassa energia, quali ad esempio quelli dell'americio-241 (emissione gamma a circa 60 keV) che è un radionuclide di uso comune. E' comunque evidente che per energie così basse è molto difficile avere una sensibilità elevata in quanto le radiazioni sono facilmente assorbite dal rottame ed il fondo ambientale in questa banda energetica è molto alto.
Nella figura 7.2 viene mostrato il profilo di misura tipico del livello di radioattività ottenuto mediante un sistema di rivelazione di questo tipo. Il valore del fondo ambientale medio del luogo di misura viene preso come riferimento al valore di 100, la linea colorata di blu rappresenta la variazione del livello durante il passaggio di un carico molto grosso di rottami metallici tra i rivelatori, mentre la linea rossa mostra l'andamento nel caso di passaggio di un carico più modesto.

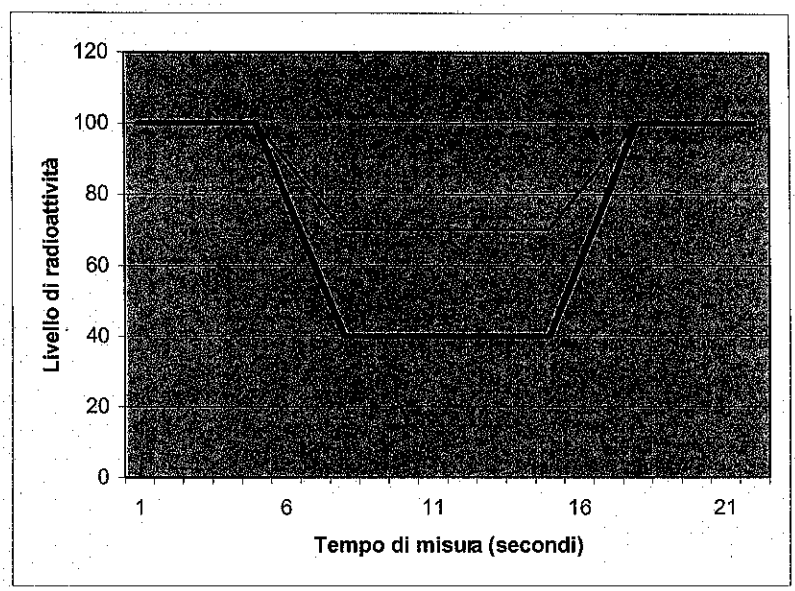


Figura 7.2 – Misura tipica del livello di radioattività durante il passaggio di un veicolo contenente rottame metallico

Si vede come il fondo ambientale diminuisca bruscamente al passaggio tra i rivelatori di un carico di rottami, scevro da radioattività anomale, per la schermatura fornita dal ferro alle radazioni dell'ambiente. Nel momento in cui l'automezzo contenente i rottami esce dal sistema di misura il livello di radiazione ritorna ai valori più alti.
Nelle figure 7.3 e 7.4 sono mostrati i cambi tipici del segnale quando il rottame contiene un livello di radiazione superiore al fondo misurato.
I segnali emessi dai rivelatori vengono raccolti da un microprocessore ed analizzati da un software dedicato. Il valore di riferimento per la radiazione di fondo locale viene aggiornato continuamente, in assenza di veicoli transitanti nel sistema. In questo modo viene massimizzata la sensibilità di misura in riferimento al livello di radiazione di fondo minimizzando il numero di falsi allarmi.

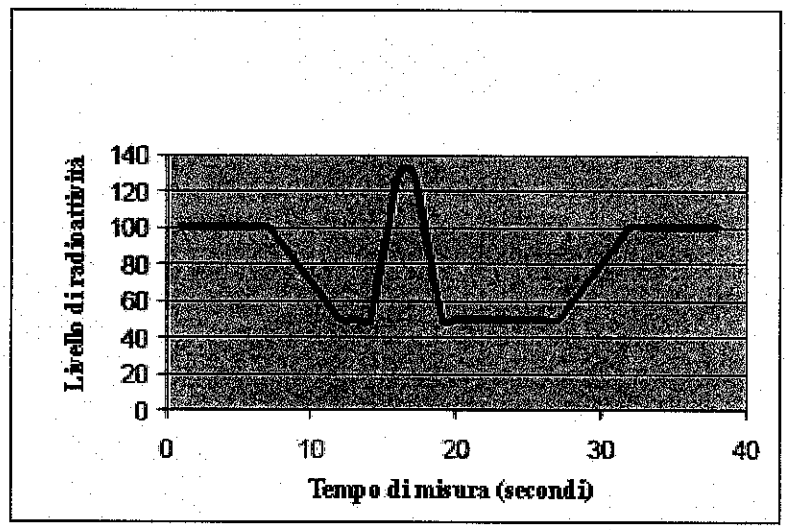


Figura 7.3 - Rottame contenente un livello di radioattività superiore al fondo ambientale

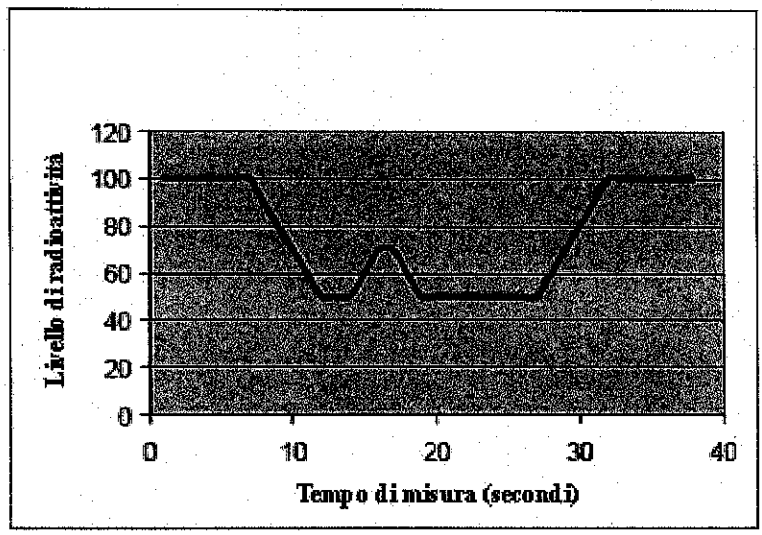


Figura 7.4 - Rottame contenente un livello di radioattività molto basso

Il segnale ottenuto dal passaggio di un veicolo viene comparato con il valore del fondo in quel momento, ed in base alle eventuali differenze viene evidenziata l'eventuale presenza di sostanze radioattive.
Il settaggio della soglia di allarme è cruciale per la sensibilità del sistema.
La massima sensibilità dei rivelatori (circa 5 nSv/h) è molto più alta del livello di radiazione di fondo nell'ambiente ed anche molto più alto del livello di radiazione di fondo durante il passaggio di un autocarro;

perciò, la soglia di allarme deve essere impostata in modo tale da assicurare una percentuale relativamente bassa di falsi allarmi (< 0,1%), cioè di allarmi dati dal sistema quando il rottame metallico in realtà non contiene radioattività.
Nella figura 7.3 viene mostrata una situazione nella quale il sistema rileva un livello di radiazione, in una parte del carico, superiore di un 30% rispetto ai livelli della radiazione di fondo ambientale. E' ragionevole aspettarsi che in questi casi il sistema di misura sia capace di provocare un allarme in maniera affidabile.
La situazione mostrata in figura 7.4 è invece la situazione tipica in cui il sistema di misura ha rilevato una variazione del fondo sempre del 30% ma riferito non più al fondo ambientale ma ad un fondo schermato dalla presenza del rottame. Un sistema di rivelazione sofisticato è in grado di distinguere il livello anomalo di radiazione e provocare un allarme anche se questo tipo di variazione dei valori misurati può essere causato anche da una distribuzione disomogenea del carico all'interno dell'automezzo e quindi essere in realtà un falso allarme.
Essendo questi sistemi posizionati all'ingresso degli stabilimenti, attraverso di essi passano tutti i materiali destinati al ciclo produttivo. Alcuni di questi fanno registrare degli allarmi sul sistema poiché, essendo la soglia di allarme del sistema impostata per il rottame metallico che contiene una radioattività naturale molto bassa, è sufficiente che transiti un carico di altro materiale contenente una quantità superiore di isotopi radioattivi naturali per avere il superamento della soglia impostata. Un esempio tipico per le acciaierie è dato dai mattoni refrattari impiegati nei forni. Questi materiali hanno un contenuto di radioattività naturale sufficiente per causare un allarmare al sistema di misura.

Controllo manuale

Il controllo manuale deve essere eseguito mediante adeguata strumentazione. Per adeguato si intende uno strumento che:

- sia molto sensibile, in modo da poter fornire una rapida risposta al variare dell'intensità del campo di radiazione;
- abbia un'efficienza alle varie energie tale da garantire la visibilità delle sorgenti che possiamo trovare nel rottame;
- sia in grado di misurare la radioattività del fondo locale;
- sia dotato di altoparlante per il monitoraggio anche acustico ed abbia la possibilità di stabilire una o più soglie di allarme;
- permetta di accedere anche alle parti alte dei veicoli: sia quindi dotato di aste di prolunga.

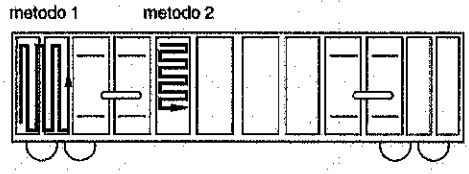
I migliori rivelatori che soddisfano alle prime tre condizioni sono gli scintillatori plastici ed i rivelatori allo NaI (ioduro di sodio). Il quarto e quinto punto dipendono dalle modalità costruttive.

Le misure manuali vengono eseguite mediante uno strumento munito di una sonda allo NaI(Tl) montata all'interno di un contenitore in carbonio dotato di aste di prolunga.

Il cristallo sensibile di NaI(Tl) è un cilindro di diametro 51 mm per 51 mm di altezza, alloggiato in un involucro di alluminio dello spessore di 0,5 mm. Il limite inferiore di rilevazione, in energia, è di 25 keV, con una sensibilità all'energia del ^{137}Cs (662 keV) di circa 800 cps/37kBq (@50 mm) ai valori di tensione e soglia di discriminazione impostati dalla fabbrica.

Lo strumento può lavorare in un intervallo di temperature da -30° a +50° con una dipendenza dalla temperatura inferiore al 10%.

Utilizzo dello strumento.



La sonda, equipaggiata con due o tre sezioni di prolunga, viene mossa, quasi a contatto della parete del veicolo, seguendo un percorso che la porti a coprire praticamente tutta la superficie di questo. Due metodi vengono utilizzati a questo scopo. Il secondo metodo è più indicato quando la radioattività presente nel terreno sottostante sia particolarmente elevata. Negli altri casi i due metodi sono equivalenti. La velocità di avanzamento, come si è detto, dipenderà dai valori del fondo ambientale, non dovrà però mai essere superiore ai due minuti per fiancata di un vagone a quattro assi (questo tempo è consigliabile solamente in presenza di un fondo molto basso (20-30 cps) e da parte di personale molto esperto che conosca molto bene l'ambiente in cui sta eseguendo la misura). Qualora si evidenzi un valore elevato si dovrà ripetere il percorso a ritroso, più lentamente, ricercando l'eventuale punto causa dell'incremento dei conteggi. Si deve aggiungere che lo strumento fornisce un valore reale per tramite l'altoparlante incorporato, mentre sul quadrante appare un valore derivante dalla media mobile delle ultime misure. Senza entrare nei particolari, qualora per un fenomeno qualsiasi il livello dei conteggi salisse improvvisamente, i valori numerici riportati manterranno per un certo tempo (alcuni secondi), memoria di questo evento, per cui diminuiranno più lentamente rispetto a quanto possiamo sentire mediante l'avvisatore acustico. Con l'esperienza si impara ad utilizzare proficuamente questa doppia informazione, evitando inutili frequenti soste di verifica. Se risulta che l'aumento dei conteggi è stabile nel tempo e non un fenomeno casuale, si deve ricercare, nei dintorni, il punto in cui l'intensità di conteggio è massima e segnalarlo con opportune indicazioni mediante un pezzo di gesso. È anche opportuno delimitare l'intera area nella quale si riscontrano valori superiori al normale. Nel caso in cui lo strumento superi i 10.000 cps interrompere ogni eventuale ulteriore ricerca, allontanarsi dal veicolo, contattare immediatamente l'Esperto qualificato. In tutti gli altri casi avvisare immediatamente l'Esperto qualificato. Qualora la sorgente venisse localizzata nella parte inferiore del veicolo si deve procedere anche all'ispezione del fondo dello stesso.

Nel passaggio da un veicolo ad un altro è normale rilevare un aumento dell'intensità di conteggio. Ciò è un ulteriore effetto dell'uso della media mobile da parte dello strumento. Prima di continuare il controllo fermarsi per alcuni secondi aspettando che lo strumento indichi nuovamente i valori tipici. Cemento, esplosivi, terra per floricultura, contengono radionuclidi naturali che possono determinare interferenze di conteggio se veicoli che trasportano tali materiali sostano nelle vicinanze dei carri da controllare. In questo caso si deve procedere più lentamente, come nel caso di fondo ambientale elevato e variabile.

CERTIFICATO DI PROVA RADIOMETRICA

Resoconto di prova radiometrica riferimento formulario nr. .: _____

Località: _____ Impianto: _____ Data: _____

Responsabile della misura: _____

Automezzo targa: _____

Metodo di misura: ☐ manuale ☐ automatica

Strumento utilizzato: _____

Fondo naturale: _____ ± _____

Fondo di riferimento sul carico: _____ ± _____

RISULTATO DELLA MISURA

Massima misura entro 20 cm dal carico: < fondo di riferimento sul carico

ANOMALIE RILEVATE: ☐ SI ☐ NO

Il responsabile della misura

_____