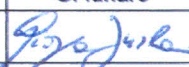
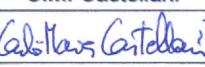



	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag.</b> 1	<b>di</b> 49
<b>Titolo</b>					
<b>Misura della contaminazione superficiale con metodi diretti</b>					
<b>Descrittori</b>					
<b>Tipologia del documento:</b> Rapporto Tecnico per Esperti Qualificati					
<b>Collocazione contrattuale:</b> Radioprotezione in Laboratori, Impianti e situazioni di Emergenza					
<b>Argomenti trattati:</b> Sorveglianza Fisica di Radioprotezione e Misure Radiometriche non di routine					
<b>Sommario</b>					
L'Istituto di Radioprotezione ENEA (IRP) assicura la sorveglianza fisica di radioprotezione per tutte le attività con rischi da radiazioni ionizzanti all'interno dei centri di ricerca ENEA, con lo scopo principale di tutelare la salute dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente.					
Per garantire il migliore servizio nell'affrontare tutte le problematiche connesse alla misura della radioattività, nell'ambito del Coordinamento "Attività di Valutazioni e Sorveglianza di Radioprotezione", è stato elaborato, a cura degli Esperti Qualificati, un primo approfondimento monotematico che riguarda le tecniche di misura della contaminazione superficiale con metodi diretti e l'applicazione della norma ISO 11929.					
La procedura fa riferimento a documenti nazionali ed internazionali aggiornati e referenziabili e applica le norme tecniche in vigore.					
Il documento può essere un valido supporto alle attività di sorveglianza fisica della radioprotezione di responsabilità dell'EQ e riassume molte informazioni utili anche per il tecnico della radioprotezione.					
In particolare il presente documento è stato redatto tenendo conto dei commenti e dei suggerimenti di Enrico Maria Borra, Gian Marco Contessa, Claudio Poggi, Sandro Sandri e Ignazio Vilardi.					
<b>Note</b>					
<b>Copia n.</b>		<b>In carico a:</b>			
2			NOME		
			FIRMA		
1			NOME		
			FIRMA		
0	<b>EMISSIONE</b>	19/6/2014	NOME	G. Iurlaro	C.M. Castellani
			FIRMA		
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag.</b> 2	<b>di</b> 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	------------------	-----------------

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione IRP-P000-004	Rev. 0	Distrib. L	Pag. di 3 49
---	-----------------------------	--	-----------	---------------	-----------------

## Indice

<b>1. Premessa.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Scopo e campo di applicazione .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Riferimenti normativi e pubblicazioni correlate .....</b>	<b>5</b>
<b>4. Termini e definizioni.....</b>	<b>6</b>
<b>5. Tecniche di misura.....</b>	<b>9</b>
<b>5.1. Programma di Monitoraggio.....</b>	<b>9</b>
<b>5.2. Metodi di misura diretta .....</b>	<b>10</b>
<b>6. Metodo di valutazione della misura .....</b>	<b>11</b>
<b>7. Valutazione delle incertezze .....</b>	<b>12</b>
<b>8. Limite di rivelazione per la misura (ISO 11929) .....</b>	<b>13</b>
<b>9. Validità della misura diretta.....</b>	<b>15</b>
<b>9.1. Emissione alfa, beta e gamma .....</b>	<b>15</b>
<b>9.2. Radionuclidi e calibrazione .....</b>	<b>16</b>
<b>9.3. Superfici e materiali contaminati .....</b>	<b>16</b>
<b>9.4. Ulteriori limitazioni .....</b>	<b>18</b>
<b>10. Livelli di contaminazione derivati .....</b>	<b>18</b>
<b>Allegato 1. Strumenti di misura .....</b>	<b>21</b>
<b>Allegato 2. Certificati di taratura.....</b>	<b>27</b>
<b>Allegato 3. Velocità di una misura con un contaminometro .....</b>	<b>30</b>
a) Survey per contaminazione beta .....	30
b) Survey per contaminazione alfa.....	30
<b>Allegato 4. Lista delle azioni da compiere.....</b>	<b>34</b>
<b>Allegato 5. Scheda di misura per il tecnico di radioprotezione.....</b>	<b>35</b>
<b>Allegato 6. Scheda di misura per l'Esperto Qualificato.....</b>	<b>39</b>
<b>Allegato 7. Esempio di stima della contaminazione superficiale.....</b>	<b>43</b>
a) Valutazione del metodo di misura .....	43
b) Formule per il calcolo della contaminazione superficiale con metodo diretto...	45
c) Esempio numerico e foglio di calcolo .....	47

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag. di</b> 4 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	------------------------

## 1. Premessa

L'Istituto di Radioprotezione ENEA (IRP) assicura la sorveglianza fisica di radioprotezione per tutte le attività con rischi da radiazioni ionizzanti all'interno dei centri di ricerca ENEA, con lo scopo principale di tutelare la salute dei lavoratori, della popolazione e dell'ambiente. Per garantire il migliore servizio nell'affrontare tutte le problematiche connesse alla misura della radioattività è stato creato, nell'ambito del Coordinamento "Attività di Valutazioni e Sorveglianza di Radioprotezione", un gruppo di lavoro tra gli Esperti Qualificati per la stesura di una serie di procedure a supporto delle attività di sorveglianza fisica della radioprotezione di responsabilità dell'EQ.

Le procedure prevedono la descrizione delle singole tecniche e metodologie di misura, fanno riferimento a documenti internazionali aggiornati e referenziabili e applicano le norme tecniche nazionali ed internazionali in vigore, facendo tesoro dell'esperienza dei centri ENEA, maturata nel corso degli anni.

Il documento *Misura della contaminazione superficiale con metodi diretti* riassume molte informazioni utili per l'Esperto Qualificato e per il tecnico della radioprotezione, include nozioni teoriche e indicazioni pratiche per l'esecuzione di una misura per mezzo di un contaminometro opportunamente calibrato.

Si rammenta che dal punto di vista della radioprotezione il rischio collegato alla contaminazione superficiale è dovuto alla esposizione esterna della pelle e/o alla contaminazione interna per inalazione (per eventuale risospensione di radioattività o per ingestione causata dalla contaminazione rimossa per contatto). La corretta esecuzione della misura e la successiva valutazione dell'eventuale presenza di contaminazione superficiale è quindi necessaria per l'ottimizzazione della radioprotezione e la riduzione del rischio.

Il documento non ha la pretesa di essere esaustivo per ogni argomento trattato ma cerca di fornire spunti per approfondimenti e brevi compendi referenziati per l'impiego in attività pratiche di radioprotezione.

## 2. Scopo e campo di applicazione


La contaminazione superficiale consiste nella presenza di sostanze radioattive depositate su superfici in seguito al contatto diretto con sorgenti non sigillate o alla ricaduta di sostanze radioattive non sigillate. Gli oggetti si considerano contaminati se del materiale radioattivo è distribuito sulla superficie.

La contaminazione superficiale può essere prodotta da numerose attività lavorative: dall'impiego di sorgenti non sigillate nei laboratori di radiochimica al malfunzionamento dei dispositivi di protezione individuale o collettivi; dal confezionamento di rifiuti contaminati al trasporto di sorgenti. Essa può essere valutata con metodi di misura diretti o indiretti; in molti casi l'impiego di entrambe le metodiche in sequenza garantisce risultati più completi e rispondenti alle aspettative [1-2-3-4].

La misura della contaminazione superficiale con metodi diretti è spesso necessaria in monitoraggi di routine nei luoghi in cui si impiegano sorgenti radioattive non sigillate; può essere inoltre fondamentale in monitoraggi speciali (es. per verificare l'assenza di rischio radiologico alla chiusura di una pratica o talvolta per determinare lo stato radiologico dopo in seguito ad anomalie, malfunzionamenti o incidenti radiologici).

Lo scopo di una misura di contaminazione è duplice [1]:

- 1- Rivelare la contaminazione: identificare le aree in cui sia presente una contaminazione al fine di confinare/limitare la diffusione verso ambienti/aree ancora non contaminati.

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	5	49


- 2- Valutare l'attività per unità di area: verificare se i valori misurati superano i limiti permessi o i livelli derivati e identificare i radionuclidi contaminanti qualora non siano noti.

L'applicabilità del metodo di misura dipende dalle specifiche condizioni in cui viene eseguita la misura stessa: forma chimica e fisica della contaminazione, aderenza della contaminazione alla superficie, accessibilità alla superficie di misura e presenza di campi di radiazione interferenti.

Questo documento *Misura della contaminazione superficiale con metodi diretti* definisce la tecnica di misura per le superfici piane (o assimilabili a superfici piane) quando sia possibile eseguire una misura diretta con un contaminometro. Il risultato della misura diretta include il contributo della contaminazione fissa e rimovibile presente sulla superficie.

### 3. Riferimenti normativi e pubblicazioni correlate


1. UNI ISO 7503-1:2010 – Evaluation of surface contamination – Part 1: Beta-emitters (maximum beta Energy > 0,15 MeV) and alpha –emitters
2. UNI ISO 7503-2:2010 – Evaluation of surface contamination – Part 2: Tritium surface contamination
3. UNI ISO 7503-3:2010 – Evaluation of surface contamination – Part 3: Isomeric transition and capture emitters, low energy beta-emitters (maximum beta Energy <0,15 MeV)
4. P.De Felice et. al. - La Misurazione della contaminazione superficiali: standardizzazione dei metodi di misura e taratura della strumentazione – in Atti del Convegno Nazionale di Radioprotezione AIRP Catania, 15-17 Settembre 2005
5. Decreto Legislativo 230/1995 e successive modificazioni e integrazioni
6. CEI45-2- Contaminometri e monitori di contaminazione alfa, beta, alfa-beta
7. Glossario di Radioprotezione – Sorveglianza Fisica – Rapporto tecnico ENEA, RT/2007/8/ASPRES - 2007
8. IAEA TS-R-1 – Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA, Vienna - 2012
9. ICRP 78 - Glossary of Terms -1998
10. ICRP 75 – General Principles for the Radiation Protection of Workers, Annals of the ICRP 27, No.1 - 1997
11. P.H. Burgess – Guidance on the choice, use and maintenance of hand-held radiation monitoring equipment- Report NRPB R326 - 2001
12. National Physical Laboratory -Measurement Good Practice Guide n°30 – Practical radiation monitoring- Teddington UK,ISSN 1368-6550, Ottobre 2002
13. U.S. Nuclear Regulatory Commission multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM), Revision 1 Report NUREG-1575, Rev.1, Agosto 2000
14. ISO 11929:2010(E) - Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation - Fundamentals and application
15. National Physical Laboratory -Measurement Good Practice Guide n°14 – The examination testing and calibration of Portable Radiation Protection Instruments- Teddington UK,ISSN 1368-6550, Marzo 1999
16. P.H.Burgess “Handbook on measurement methods and strategies at very low levels and activities – European Commission Report EUR 17624 - 1998
17. Shuller, Butterweck, Wernli, Bochud, Valley “Calibration and Verification of Surface Contamination Meters- Procedure and Thechique – Paul Scherrer Institut, Villigen, Swizerland: PSI Report n° 07-01-, ISSN 1019-0643, Marzo 2007

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	6	49


18. C.E. Felegate – The effect of surface materials on radioactive surface contamination measurements – NPL Report RSA (EXT)4, March 1990
19. CNEN - Manuale di Radioprotezione dalle Radiazioni Ionizzanti – III Edizione - 1979
20. ICRP 25 – The handling, storage, use and disposal of unsealed radionuclides in hospital and medical research establishments – 1976
21. Delacroix, Guerre, Leblanc, Hickman - Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2002- Rad.Prot. Dos. Vol. 98 N°1 - 2002
22. IAEA-TECDOC-855 - Clearance levels for radionuclides in solid materials - 1996
23. German Ordinance on the Protection against Damage and Injuries Caused by Ionizing Radiation (Radiation Protection Ordinance) – Edition 02/12 (bilingual) Bundesamt fur Strahlenschutz - 2012
24. UNI 8143 - Controlli periodici della strumentazione portatile di radioprotezione – 1980
25. ISPEL-AIRP-ANPEQ-ENEA -Indicazioni Operative per la qualità della misura in radioprotezione – 2009
26. UNI 8299 - Controlli periodici di taratura e di corretto funzionamento dei contaminometri, monitori e segnalatori portatili di contaminazione superficiale alfa, beta e gamma - 1981
27. ISO 8769:2010 - Reference sources -- Calibration of surface contamination monitors -- Alpha-, beta- and photon emitters
28. IAEA – Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency – EPR Medical 2005 - Aprile 2005
29. UNI 10127-Parte1 – Guida per la definizione degli intervalli di taratura di strumenti per misurazioni – Criteri generali
30. IAEA-TECDOC-1162 – Generic procedure for assessment and response during a radiological emergency-2000

#### 4. Termini e definizioni


Termine	Definizione
attività (A) [5]	Quoziente di dN diviso per dt, in cui dN è il numero atteso di transizioni nucleari spontanee di una determinata quantità di un radionuclide da uno stato particolare di energia in un momento determinato, nell'intervallo di tempo dt.
becquerel (Bq) [5]	Nome speciale dell'unità di attività (A); un becquerel equivale ad una transizione per secondo. $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ I fattori di conversione da utilizzare quando l'attività è espressa in curie (Ci) sono i seguenti: $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ $1 \text{ Bq} = 2,7027 \times 10^{-11} \text{ Ci}$ .
contaminometro alfa- beta- alfa/beta di superficie [6]	Complesso comprendente uno o più rivelatori di radiazione e le relative unità od elemeti funzionali associati, destinato alla misura dell'attività superficiale alfa – beta - alfa/beta, dovuta alla contaminazione dell'oggetto in esame.
contaminazione esterna [7]	Presenza di sostanza radioattiva su parti esterne del corpo umano.

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag.</b> 7	<b>di</b> 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	------------------	-----------------

<b>Termine</b>	<b>Definizione</b>
contaminazione interna [7]	Presenza di sostanza radioattiva d'origine artificiale all'interno del corpo umano, oppure incremento - dovuto ad attività antropiche- del fondo di radioattività naturale nell'uomo.
contaminazione radioattiva [5]	Contaminazione di una matrice, di una superficie, di un ambiente di vita o di lavoro o di un individuo, prodotta da sostanze radioattive. Nel caso particolare del corpo umano, la contaminazione radioattiva include tanto la contaminazione esterna quanto la contaminazione interna, per qualsiasi via essa sia prodotta.
contaminazione superficiale [8]	Presenza di sostanze radioattive depositate su una superficie in quantità superiore a 0,4 Bq/cm <sup>2</sup> per gli emettitori gamma e beta e per gli emettitori alfa con bassa tossicità, oppure superiore a 0,04 Bq/cm <sup>2</sup> per gli alfa emettitori.
contaminazione superficiale fissa [1]	Contaminazione superficiale che non può essere rimossa o trasferita in condizioni normali di lavoro.
contaminazione superficiale rimovibile [1]	Contaminazione superficiale che può essere rimossa o trasferita in condizioni normali di lavoro.
emettitori alfa con bassa tossicità [8]	Uranio naturale, uranio impoverito, torio naturale, <sup>235</sup> U o <sup>238</sup> U, <sup>232</sup> Th, <sup>228</sup> Th e <sup>230</sup> Th quando sono contenuti in minerali o concentrati fisici o chimici; o emettitori alfa con un tempo di dimezzamento inferiore ai 10 giorni.
esonero [7]	Esonero da specifici obblighi di legge, principalmente in materia di notifiche e autorizzazioni.
fondo naturale di radiazioni [5]	Insieme delle radiazioni ionizzanti provenienti da sorgenti naturali, sia terrestri che cosmiche, semprechè l'esposizione che ne risulta non sia accresciuta in modo significativo da attività umane.
limite [7]	Valore di una grandezza di radioprotezione che non deve essere superato.
livello di azione (action level) [9]	In radioprotezione operativa, livello di riferimento che, se superato, dovrebbe comportare l'adozione di azioni di rimedio.
livello di esonero [7]	Valore di una grandezza radiologica al di sotto della quale può essere disposta l'assenza di azioni protettive.
livello di indagine (investigation level) [9]	Livello di riferimento che, se superato, dovrebbe comportare l'avvio di un'indagine per stabilire le cause o le implicazioni di tale superamento.
livello di intervento [5]	Valore di dose oppure valore derivato, fissato al fine di predisporre interventi di radioprotezione.
livello di registrazione [9]	Livello di riferimento che, se superato, dovrebbe comportare la registrazione del dato di misura.
livello di riferimento [9]	Valore di una grandezza misurata al di sopra del quale dovrebbero essere assunte specifiche decisioni o avviate azioni specifiche.
misura radiometrica	Misura di una grandezza radiometrica effettuata direttamente su una matrice o sul corpo umano.

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag.</b> 8	<b>di</b> 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	------------------	-----------------

<b>Termine</b>	<b>Definizione</b>
diretta [7]	
misura radiometrica indiretta [7]	Determinazione di una grandezza radiometrica effettuata mediante misurazioni dirette di altre grandezze correlate alla prima da relazioni funzionali.
monitoraggio di routine [10]	Monitoraggio periodico nel corso delle ordinarie attività lavorative, inteso a dimostrare che le condizioni di lavoro ambientali, inclusi i livelli di dose, rimangano soddisfacenti, e che i requisiti di legge vengano rispettati.
monitoraggio speciale [10]	Monitoraggio di carattere sistematico, che tipicamente concerne una situazione nell'ambiente di lavoro nella quale non sono disponibili informazioni sufficienti a dimostrarne un adeguato controllo, e che è inteso a procurare informazioni dettagliate al fine di chiarire ogni problema e definire le future procedure.
monitore di contaminazione superficiale alfa – beta – alfa/beta [6]	Contaminometro cui sono aggiunti i dispositivi necessari a segnalare mediante l'intervento di un segnale direttamente percettibile (generalmente ottico od acustico), che l'attività superficiale dovuta alla contaminazione dell'oggetto in esame supera un valore prestabilito e regolabile o non è più compresa tra due limiti prestabiliti e regolabili.
normali condizioni di lavoro [1]	Le normali condizioni di lavoro sono importanti per la valutazione del rischio di inalazione e incorporazione connesso alla contaminazione superficiale. Si assume che in normali condizioni di lavoro la massima intensità dell'azione meccanica che possa asportare la contaminazione consista in contatto normale della superficie con il corpo umano (non accidentale) e contatto non distruttivo tra la superficie e parti di strumentazione che possano poi essere manipolate dai lavoratori. Si deve tener presente che in particolari condizioni con l'influenza di un composto chimico, (corrosione o diffusione) la contaminazione fissa può divenire rimovibile e vice versa senza l'intervento dell'azione umana. Inoltre la contaminazione può diminuire attraverso processi di evaporazione o volatilizzazione. Il termine "normale" si considera per specificare condizioni differenti dalle situazioni "accidentali".
procedura di radioprotezione operativa [7]	Procedura scritta e dettagliata che definisce le modalità operative relative all'esecuzione di pratiche ed interventi.
radiometro [7]	Apparecchiatura, comprendente uno o più rivelatori e elettronica associata, per la misura di grandezze correlate alle radiazioni ionizzanti.
radiazione ionizzante [7]	Radiazione in grado di produrre la ionizzazione di atomi e delle molecole del mezzo attraversato.
sivert [5]	Nome speciale dell'unità di dose equivalente o di dose efficace. Le dimensioni del sievert sono $J\ kg^{-1}$ . Quando la dose equivalente o la dose efficace sono espresse in rem valgono le seguenti relazioni: $1\ rem = 10^{-2}\ Sv$ .
sorgente naturale [7]	Sorgente di radiazioni ionizzanti di origine naturale, sia terrestre che extraterrestre.
sorgente non sigillata [5]	Qualsiasi sorgente che non corrisponde alle caratteristiche e ai requisiti della sorgente sigillata.

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag.</b> 9	<b>di</b> 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	------------------	-----------------

<b>Termine</b>	<b>Definizione</b>
sorgente radioattiva [5]	Sorgente di radiazioni ionizzanti costituita da materia radioattiva, ancorchè contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, dei quali, ai fini della radioprotezione, non si può trascurare l'attività o concentrazione di radionuclidi o l'emissione di radiazione.
sorgente sigillata [5]	Sorgente formata da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive, o sigillate in un involucro inattivo che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive superiore ai valori stabiliti dalle norme di buona tecnica applicabili.
sorveglianza fisica [5]	L'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'esperto qualificato al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione.
zona classificata [5]	Ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti. Le zone classificate possono essere zone controllate o zone sorvegliate.
zona controllata [5]	Zona classificata, il cui accesso è segnalato e sottoposto a regolamentazione, nella quale, sulla base di accertamenti e valutazioni compiuti dall'esperto qualificato, sussiste per i lavoratori che vi operano il rischio di superamento di prefissati valori di dose.
zona sorvegliata [5]	Qualsiasi zona classificata che non sia zona controllata; in essa, sulla base di accertamenti e valutazioni compiuti dall'esperto qualificato, sussiste per i lavoratori che vi operano il rischio di superamento di uno dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico.

## 5. Tecniche di misura

### 5.1. Programma di Monitoraggio


Lo scopo principale di un programma di monitoraggio è confermare che i livelli di radiazione siano accettabili, in accordo con la designazione dell'area monitorata e con le precauzioni impiegate in termini radioprotezionistici. Un secondo obiettivo è generalmente controllare possibili incrementi dei livelli di radiazione che possano nel caso richiedere variazioni delle attività lavorative nell'area considerata. Ciò può portare all'indagine sulle cause dell'incremento dei livelli di radiazione e alla ricerca di possibili azioni da compiere affinché si realizzi una inversione di tendenza [11].

Per un programma di monitoraggio della contaminazione superficiale gli obiettivi di sono:

- La rivelazione delle particelle ionizzanti o fotoni emessi da una superficie che è contaminata con materiale radioattivo.
- La valutazione delle letture dello strumento per ottenere una stima delle quantità e specie dei contaminati radioattivi.

Per realizzare un efficace programma di monitoraggio della contaminazione superficiale occorre [11]:

- Identificare l'area da monitorare.
- Reperire le informazioni relative alla storia dell'area da monitorare: radionuclidi impiegati (sorgente sigillata o non sigillata, se non sigillata forma chimica, con

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag. di</b> 10 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	-------------------------

indicazione dell'attività, del tempo e delle quantità impiegate) e risultati dei precedenti sopralluoghi.

- Identificare le superfici da monitorare.
- Distinguere la contaminazione fissa da quella rimovibile.
- Definire le misure dirette e indirette da compiere.
- Definire i livelli di dettaglio e di accuratezza necessari.
- Definire i livelli d'azione (preferibilmente espressi in termini di cps).
- Identificare le procedure da impiegare se si superano i livelli d'azione.
- Indicare il personale autorizzato ad eseguire il programma di monitoraggio.
- Verificare la tipologia e quantità di strumentazione di monitoraggio disponibile (verificare anche lo stato di calibrazione).
- Descrivere le condizioni ambientali (temperatura, umidità).
- Definire i dettagli sui livelli di rateo di dose in prossimità e nell'area da monitorare.
- Procurare gli indumenti di protezione individuali necessari (tuta, guanti di gomma, maschere o respiratori).
- Fornire gli strumenti per l'accumulo di rifiuti radioattivi eventualmente prodotti.

## 5.2. Metodi di misura diretta

La contaminazione superficiale può essere valutata con metodi diretti o indiretti. Il metodo di misura diretta è usato quando una superficie è facilmente accessibile, ragionevolmente pulita e quando non c'è interferenza di campi di radiazione con un alto fondo ambientale. La misura diretta è preferibile ogni qualvolta sia eseguibile poiché è in grado di fornire una informazione più completa relativa alla presenza di contaminazione sia fissa che rimovibile.

Il contaminometro deve essere idoneo alla misura della specifica radiazione da rivelare (alfa, beta, fotoni) e inoltre deve essere in grado di misurare attività inferiori ai livelli di contaminazione superficiale con cui i dati acquisiti devono essere confrontati.

Durante una misura diretta il contaminometro si deve spostare, parallelamente alla superficie da investigare, con un movimento lento e uniforme.


La velocità di monitoraggio, ossia la velocità con cui si deve muovere il contaminometro sulla superficie affinché sia garantita la rivelazione della contaminazione in accordo con i livelli derivati di contaminazione (vedi cap.10), deve essere valutata a priori e sono molti i fattori che la condizionano (es. il tempo di risposta strumento). Un esempio di tale calcolo è riportato nell'Allegato 3.

Il monitoraggio si dovrebbe eseguire impostando dei livelli di allarme con segnale sonoro [11].

Per eseguire una misura correttamente lo strumento si deve posizionare ad una distanza circa uguale a 3 mm dall'area da analizzare [11]; tale distanza è necessaria per garantire la rivelazione della contaminazione alfa e dei radionuclidi beta di bassa energia pur evitando il contatto e la contaminazione del rivelatore.

Quando il rivelatore si colloca in una posizione fissa si determina la radiazione emessa dalla superficie sottostante. Si richiede di attendere un tempo minimo pari a 3 volte la costante di tempo dello strumento prima di effettuare la prima lettura [4].

Per misure accurate il rivelatore deve essere stabile e fornire per almeno tre volte risposte coerenti.

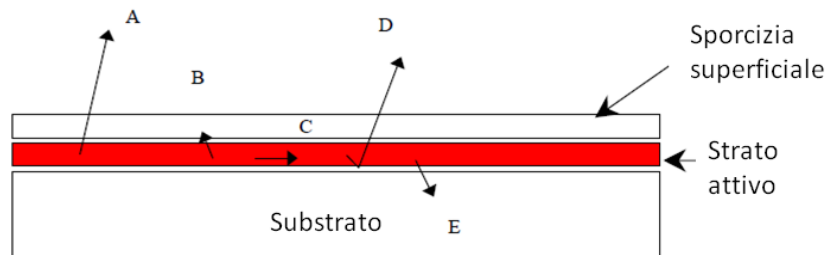
	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
		IRP-P000-004	0	L	11	49

## 6. Metodo di valutazione della misura

Si deve tener presente che per gli scopi di radioprotezione i livelli di contaminazione superficiale sono normalmente espressi in attività di uno specifico radionuclide (o espresso in termini “radionuclide equivalente”) per unità di area, Bq/cm<sup>2</sup>.

Gli strumenti che forniscono la misura in Bq o in Bq/cm<sup>2</sup> utilizzano un fattore di calibrazione registrato nello strumento; bisogna verificare che tale fattore sia in accordo con quello fornito dal certificato di taratura e ogni qualvolta si avessero dubbi in tal senso è opportuno impiegare l’unità di base “conteggi per secondo” (indicato con cps o s<sup>-1</sup>) e applicare le opportune formule per il calcolo della contaminazione superficiale [12].

La grandezza misurata da un contaminometro è la risposta dello strumento all’emissione incidente sulla finestra di ingresso, in pratica si rivela l’emissione della sorgente in geometria 2π [12].



**Figura 1** Schema dell’emissione di particelle e fotoni dalla superficie contaminata [12].

- A:** Particella/fotone emesso dalla superficie
- B:** Particella/fotone assorbito dallo strato di sporcizia
- C:** Particella/fotone assorbito nello strato attivo
- D:** Particella/fotone retrodiffuso dal substrato
- E:** Particella/fotone assorbita dal substrato.

L’emissione totale (prodotta su 4π) è approssimativamente [12]:

- Il doppio dell’emissione superficiale per particelle beta di alta energia e per fotoni X e γ.
- Quattro volte o più per l’emissione di particelle α e β di bassa energia.

La risposta dello strumento può essere riferita ad una superficie con una sorgente distribuita o ad una sorgente puntiforme.

L’attività per unità di area  $A_s$  per la contaminazione totale (fissa e rimovibile) espressa in termini di Bq/cm<sup>2</sup> è data dalla nota equazione [1,2, 3]<sup>1</sup>

$$A_s = \frac{(R - B)}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}$$

**Eq. 1**

Dove:

R= Rateo di conteggio osservato sulla superficie in indagine (s<sup>-1</sup>)


B = rateo di conteggio di un idoneo fondo (s<sup>-1</sup>)

W = area attiva del rivelatore (cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_i$ =efficienza dello strumento<sup>2</sup>

<sup>1</sup> L’attività superficiale può anche trovarsi nella formula equivalente[12]:

$$A_s = \frac{(R - B)}{W} \times CF_E \times P$$

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	12	49

$\varepsilon_s$ =efficienza della sorgente di contaminazione – il rapporto tra il rateo di emissione superficiale di una sorgente e il rispettivo rateo di produzione della sorgente.

$\varepsilon_d$ =probabilità di emissione per la specifica radiazione considerata - il rapporto tra il numero di particelle alfa, elettroni o fotoni di una data energia creati per unità di tempo da un dato radionuclide e il numero di decadimenti del radionuclide per unità di tempo.

L'efficienza dello strumento riferita ad una sorgente di calibrazione è:

$$\varepsilon_i = \frac{R_i - B}{E_{sc} \times W}$$

$R_i$  = rateo di conteggio totale dovuto alla sorgente di riferimento

$E_{sc}$  = rateo di emissione superficiale della sorgente di calibrazione ( $\alpha, \beta$  o fotoni)  $s^{-1}cm^{-2}$ .

In assenza di indicazioni più precise sull'emissione della sorgente e sulle caratteristiche della superficie, l'efficienza della sorgente di contaminazione è data dai valori riportati in Tabella 1 [1]:

**Tabella 1: Valori dell'efficienza della sorgente di contaminazione al variare del tipo di radiazione e energia.**

$\varepsilon_s^3$	Emissione	Energia
0,5	$\beta$	$E_{\beta max} > 0.4 \text{ MeV}$
0,25	$\beta$	$0,15 \text{ MeV} < E_{\beta max} < 0.4 \text{ MeV}$
0,25	$\alpha$	-

## 7. Valutazione delle incertezze

Come è noto ogni misura deve essere associata ad una sua incertezza. Si riporta di seguito il valore dell'incertezza  $u(A_s)$  calcolato a partire dalla equazione Eq. 1:

$$u(A_s) = \sqrt{\left(\frac{1}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}\right)^2 [u^2(R) + u^2(B)] + \left[\left(\frac{u(W)}{W}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_i)}{\varepsilon_i}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_s)}{\varepsilon_s}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_d)}{\varepsilon_d}\right)^2\right] \times A_s^2}$$

**Eq. 2**


L'incertezza sulla dimensione  $W$  dell'area attiva del rivelatore può calcolarsi a partire dai dati forniti dal costruttore (è dell'ordine di qualche percento).

L'incertezza del fattore di calibrazione dello strumento  $\varepsilon_i$  è fornita dal centro di taratura nel certificato di taratura, generalmente 5%.

L'incertezza sul valore  $\varepsilon_s$  si può considerare dell'ordine del 10%, prendendo atto di quanto riportato dallo studio di C.E. Felegate [18].

<sup>2</sup> L'efficienza dello strumento coincide con l'inverso del fattore di calibrazione  $CF_E$  che esprime la risposta dello strumento in termini di rateo di emissione superficiale per unità di area; è calcolato con sorgenti standard di calibrazione ISO 8769.

<sup>3</sup> L'efficienza della sorgente di contaminazione  $\varepsilon_s$  coincide con l'inverso del P-factor, il fattore moltiplicativo che consente il passaggio dalla geometria  $2\pi$  a  $4\pi$ , esso dipende dal tipo di radiazione, dal radionuclide, dalla possibile emissione multipla per singola disintegrazione e dalla specifica situazione pratica (tipo di superficie, retrodiffusione dovuta al materiale circostante, auto assorbimento e rivestimento della superficie) [12]. Il P-factor può essere calcolato al variare del radionuclide di interesse.

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	13	49

La misura diretta della contaminazione superficiale può essere condizionata anche da una serie di fattori che ne incrementano l'incertezza:

- l'energia della radiazione incidente (può non essere monoenergetica e differente da quella di riferimento per la calibrazione o generata da un combinazione di radionuclidi);
- il tipo di superficie contaminata e le sue condizioni (es. forma, quantità di sporcizia, polvere o grasso depositato che possono essere mischiati o depositati sul contaminante);
- la distanza tra il rivelatore e la superficie contaminata;
- la velocità di monitoraggio;
- la distribuzione del contaminante (gocce/zone casuali o distribuzione uniforme);
- la posizione non parallela tra la superficie di rivelazione e la superficie da controllare.

Il contributo di tali fattori dovrebbe essere pertanto valutato di volta in volta.

## 8. Limite di rivelazione per la misura (ISO 11929)

Il limite di rivelazione per una metodica di misura prescelta è il valore più piccolo rivelabile, con elevato grado di affidabilità, della grandezza stessa, ed è un valore molto maggiore della soglia di decisione (valore fissato per definire la presenza di un effetto fisico).

Tale limite deve essere usato per verificare che la strumentazione impiegata sia idonea alla misura da eseguire, esso deve essere confrontato con i valori derivati per i livelli di contaminazione superficiale (vedi paragrafo 10).

La soglia di decisione è data da [14]:

$$A_S^* = k_{1-\alpha} \times \tilde{u}(0) \quad \text{Eq. 3}$$

si assume che ci sia una probabilità  $\alpha$  (generalmente pari al 5%) di rifiutare l'ipotesi che l'effetto fisico sia presente (probabilità di falso positivo pari a 5%).

Il limite di rivelazione è la soluzione più piccola della seguente equazione [14]:

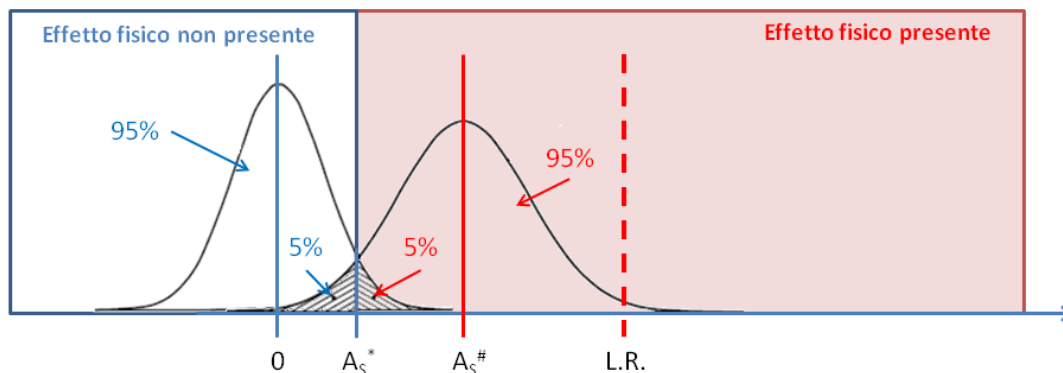
$$A_S^\# = A_S^* + k_{1-\beta} \tilde{u}(A_S^\#) \quad \text{Eq. 4}$$

e si può calcolare attraverso un processo iterativo partendo dall'approssimazione

$$A_S^\# \approx 2 \times A_S^* \quad \text{Eq. 5}$$

Generalmente si considera  $\beta$  pari al 5%; questo vuol dire che  $A_S^\#$  ha una probabilità del 95% di essere associato ad un effetto fisico realmente presente (probabilità di falso negativo pari al 5%).

I valori dei quantili  $k_{1-\alpha}$ ,  $k_{1-\beta}$  della distribuzione normale standard sono tabulati nell'allegato E della norma ISO 11929:2010, si consideri  $k_{1-\alpha}=t$  e  $\phi(t)=1-\alpha$  e analogamente  $k_{1-\beta}=t$  e  $\phi(t)=1-\alpha$ .



**Figura 2** Rappresentazione schematica dei limiti caratteristici della metodica di misura,  $A_s^*$  e  $A_s^\#$ , e del livello di riferimento L.R. per la grandezza in esame.

Per meglio illustrare tali concetti si riporta nella Figura 2 una rappresentazione schematica dei limiti caratteristici della metodica di misura e il livello di riferimento per la grandezza di riferimento. Nella parte a sinistra è evidenziata l'area associata alla probabilità che l'effetto fisico non sia presente, mentre alla parte destra è associata la presenza di contaminazione superficiale.

Ogni qualvolta che l'effetto fisico è presente (cioè quando è verificata la condizione  $A_{Si} > A_s^*$ ), si considera l'intervallo di confidenza all'interno del quale è presente il valore vero del misurando con una probabilità pari a  $1-\gamma$  (generalmente posta pari al 95%, con  $\gamma=0,05$ ).

Si definiscono pertanto i seguenti limiti dell'intervallo di confidenza del valore vero:

$$\text{limite inferiore} \rightarrow A_s^{\triangleleft} = A_s - k_p u(A_s) \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{limite superiore} \rightarrow A_s^{\triangleright} = A_s + k_q u(A_s) \quad \text{Eq. 7}$$

Con  $p$  e  $q$  definiti come segue:

$$p = \omega \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{2}\right), \quad q = 1 - \omega \frac{\gamma}{2}$$


e dove  $\omega$  è una funzione del misurando  $A_s$  e della sua incertezza:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{A_s/u(A_s)} \exp\left(-\frac{v^2}{2}\right) dv \quad \text{Eq. 8}$$

I valori dei quantili  $k_p$ ,  $k_q$  della distribuzione normale standard per le probabilità  $p$  e  $q$  sono tabulati nell'allegato E della norma ISO 11929:2010.

Infine si associa alla misura la migliore stima della contaminazione superficiale:

$$\hat{A}_s = A_s + \frac{u(A_s)}{\omega \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{\frac{-A_s^2}{2 \cdot u^2(A_s)}\right\} \quad \text{Eq. 9}$$

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag. di</b> 15 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	-------------------------

con la sua incertezza standard associata:

$$u(\hat{A}_S) = \sqrt{u^2(A_S) - (\hat{A}_S - A_S) \cdot \hat{A}_S}$$

**Eq. 10**

Un esempio numerico, con una trattazione dettagliata dell'applicazione della ISO 11929:2010, è presentato nell' Allegato 7.

E' opportuno ricordare che per eseguire una buona misura di contaminazione superficiale è essenziale impostare correttamente i parametri di acquisizione dello strumento (tempo di misura o tempo di integrazione) verificando a priori il limite di rivelazione della tecnica di misura impiegata.

Nei manuali della strumentazione è comunemente riportato il valore della minima attività rivelabile per la contaminazione alfa o beta/gamma e talvolta sono presenti tabelle con limite di decisione e limite di rivelazione anche al variare dei radionuclidi (i valori sono calcolati in accordo con le norme in vigore nello stato del produttore).

## 9. Validità della misura diretta

### 9.1. Emissione alfa, beta e gamma


Molti radionuclidi beta emettitori, che possono avere una capacità di penetrazione in aria di alcuni metri e sono in grado di penetrare spessori di plastica dell'ordine del centimetro, sono facilmente rivelabili con l'impiego dei contaminametri.

Al contrario alcuni radionuclidi di grande interesse in radioprotezione con emissioni beta di bassissima energia come  $^3\text{H}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  e  $^{63}\text{Ni}$  sono difficilmente rivelabili con metodi diretti. Il trizio, in particolare, ha una grande tendenza ad essere assorbito dalle superfici, anche metalliche come l'acciaio inossidabile [16]. Sono comunque presenti in commercio contaminametri con sonde dedicate alla rivelazione del trizio e caratterizzate dall'assenza della finestra in ingresso (es. Contamat FHT 111M con sonda per  $^3\text{H}$  CO11 M). Si raccomanda di verificare la stabilità e la ripetibilità della risposta dello strumento durante l'impiego di tali rivelatori.

Più in generale il problema principale della rivelazione dei beta emettitori può essere rappresentato dalla presenza di un fondo gamma, dovuto a gamma emettitori presenti nel materiale da misurare o in prossimità di esso e/o alle interazioni dei raggi cosmici. Un valore medio tipico del fondo beta-gamma è  $1 \text{ s}^{-1}$  per rivelatori da  $20\text{-}30 \text{ cm}^2$  [11].

I radionuclidi alfa emettitori hanno una capacità di penetrazione molto bassa (dell'ordine di  $5\text{mg}/\text{cm}^2$  o  $5\text{cm}$  in aria) pertanto uno strato molto sottile di grasso o di sporcizia può ridurne a zero l'emissione. L'impiego della misura diretta per la rivelazione di alfa emettitori è efficace solo su superfici apparentemente pulite oppure su superfici dove l'attività è distribuita in maniera uniforme (es. terreno); non è utile per materiali verniciati, sporchi o porosi che richiederebbero una preliminare pulizia [16,11]. Il fondo alfa è generalmente molto basso (tipicamente inferiore a  $0,1\text{s}^{-1}$  per  $150\text{cm}^2$  di rivelatore) [11].

Molti radionuclidi emettono radiazione X o  $\gamma$  oltre alle particelle  $\alpha$  e  $\beta$ . In queste circostanze è meglio ricorrere all'emissione  $\alpha$  e  $\beta$  associata perché tale radiazione è sicuramente proveniente dalla superficie adiacente al contaminometro mentre la radiazione gamma può penetrare anche dalle pareti del rivelatore (escluso i casi in cui esso sia ben schermato). Sarà necessario rivelare la radiazione X o  $\gamma$  per i radionuclidi come  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Co}$  e  $^{125}\text{I}$ , poiché non emettono particelle utili  $\alpha$  o  $\beta$  [16].

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag. di</b> 16 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	-------------------------

## 9.2. Radionuclidi e calibrazione

La calibrazione di un rivelatore per ogni ipotetico scenario non è applicabile. Molti produttori forniscono efficienze per un ristretto numero di radionuclidi (es.  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) ottenute in condizioni ideali di misura; in pratica l'utilizzatore è costretto a fare alcune ipotesi riguardo all'effetto della superficie contaminata e delle caratteristiche di emissione del radionuclide per fornire un valore di attività superficiale.

In talune circostanze si è chiamati a verificare la presenza di contaminazione superficiale senza aver alcuna indicazione della tipologia di sorgente, pertanto si deve esprimere la grandezza misurata in termini di un radionuclide equivalente, impiegando l'opportuno valore della efficienza di calibrazione dello strumento.

In altri casi la misura è richiesta in laboratori in cui si faccia uso di più radionuclidi alfa, beta e gamma emettitori. In queste circostanze l'esperto qualificato può scegliere di eseguire una misura con un radionuclide di riferimento (per esempio il radionuclide con efficienza minore se vuole essere più cautelativo) oppure può approfondire la ricerca avvalendosi del personale del laboratorio, cercando tutte le informazioni necessarie per identificare la sorgente contaminante. In simili circostanze si può ricorrere a tecniche complementari come:

- spettrometria gamma *in situ* (da eseguire con rivelatori a ioduro di sodio o rivelatori al germanio iperpuro),
- *wipe test*
- spettrometria gamma tal quale sul campione ottenuto dalla asportazione di parte del materiale superficiale
- spettrometria alfa sul campione ottenuto dalla asportazione di parte del materiale superficiale (tale metodica necessita di opportuni trattamenti del campione con metodi radiochimici).

Infine se si dispone di una curva di calibrazione per vari radionuclidi ma il radionuclide impiegato (noto) non coincide con quelli di calibrazione si può scegliere di eseguire una interpolazione delle efficienze di rivelazione per le energie di riferimento.

## 9.3. Superfici e materiali contaminati

Gli effetti delle differenti superfici e dei materiali sono stati valutati nel dettaglio da C.E. Felegate [18] (ad esempio carta benchkote e carta assorbente, vinile, formica, acciaio inossidabile). A titolo di esempio si riporta in Figura 3 la risposta del Berthold LB1210B [18].

La misura della contaminazione è indicata quindi per superfici non adsorbenti: è sicuramente meno efficace e significativa se eseguita su materiali porosi come cemento o legno.

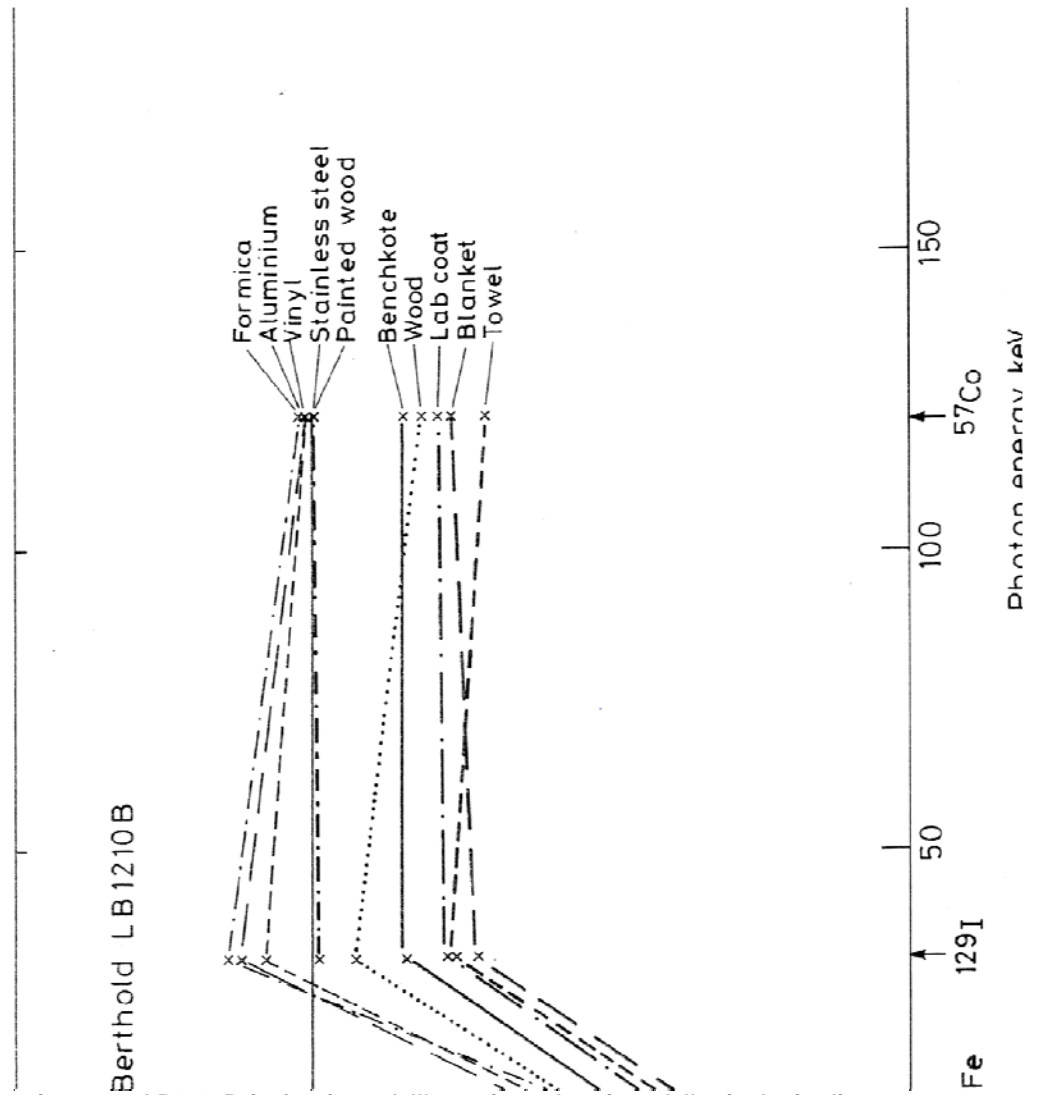



Figura 3 Risposta del contaminometro LB1210B in funzione dell'energia e al variare della tipologia di superficie contaminata.

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	18	49

#### 9.4. Ulteriori limitazioni

Si ricorda infine che ci sono numerosi casi in cui non è possibile applicare il metodo di misura diretta della contaminazione superficiale:

- quando le superfici non sono perfettamente piane (o non sono assimilabili a superfici piane);
- quando le aree da investigare non sono accessibili con un contaminometro (es. piccole fessure);
- quando sia presente un alto livello di radiazione di fondo (presenza di campi di radiazione gamma anche esterni all'area contaminata).

### 10. Livelli di contaminazione derivati

Il documento IAEA TS-R-1 [8] definisce “contaminazione” la presenza di una sostanza radioattiva su di una superficie in quantità superiori al valore di 0,04 Bq/cm<sup>2</sup> per emettitori alfa e di 0,4 Bq/cm<sup>2</sup> per emettitori beta e gamma. In particolare questi valori possono quindi essere considerati come livelli di “esenzione” per la contaminazione e livello di “registrazione” ogni qualvolta siano superati.

Nella Tabella 2 si riportano i livelli di contaminazione superficiale storicamente usati come riferimento presso i centri ENEA. Si precisa che nelle aree classificate possono essere tollerati valori più alti (fino a due ordini di grandezza) quando la contaminazione è limitata a piccole superfici e/o quando è fissa [19].


**Tabella 2: Livelli di contaminazione superficiale storicamente usati come riferimento presso i centri ENEA nelle aree classificate**

Contaminazione	Zona Libera (Bq/cm <sup>2</sup> )	Zona Sorvegliata (Bq/cm <sup>2</sup> )	Zona Controllata (Bq/cm <sup>2</sup> )
Alfa	Non Contaminata	0,04	0,4
Beta-Gamma	Non Contaminata	0,4	4

Gli Esperti Qualificati ogni qualvolta ritengano anomali i valori di contaminazione ottenuti dai controlli periodici possono decidere di effettuare indagini e interventi (es. avviare una procedura di decontaminazione).

Il calcolo preciso dei limiti derivati per la contaminazione fissa per le superfici di lavoro richiede la conoscenza di molti fattori tra i quali la natura chimica del materiale radioattivo, la possibilità di risospensione, le condizioni di lavoro e le abitudini del personale coinvolto. Pertanto è virtualmente impossibile fornire tabelle semplici e utili applicabili a tutte le condizioni di lavoro e la valutazione di ogni particolare caso deve essere materia di un giudizio professionale [20].

Sono disponibili valori tabulati in appositi manuali come “Radionuclide and Radiation Protection data Handbook 2002” [21] in cui per ogni radionuclide sono indicati i limiti derivati per la contaminazione fissa e rimovibile. In alcuni casi si può ricorrere ai livelli di clearance ottenuti da calcoli per i singoli radionuclidi applicando il criterio di non rilevanza radiologica [22]. Inoltre in alcuni manuali di contaminometri prodotti in Germania si riportano i limiti definiti nell' Ordinanza tedesca di radioprotezione del 2012 (0,1 Bq/cm<sup>2</sup> per alfa emettitori, 1 Bq/cm<sup>2</sup> per beta e gamma emettitori, 100 Bq/cm<sup>2</sup> per beta con energia massima di 0,2 MeV) [23].

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	19	49

Particolare interesse richiede il controllo del personale nell'area di lavoro classificata; per le misure di contaminazione superficiale della pelle i valori vengono mediati su un'area di 100 cm<sup>2</sup>, mentre per le mani la media viene effettuata sull'intera area di una mano (circa 300cm<sup>2</sup>). Nelle Tabella 7 e Tabella 8 sono riportati i livelli di azione per la contaminazione superficiale della pelle definiti nel documento IAEA, per le procedure mediche in caso di emergenza radiologica, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency del 2005.

**Tabella 3: Livelli di azione per la contaminazione superficiale della pelle. Ai valori di contaminazione superficiale beta gamma sono associati valori di equivalente di dose ambientale misurati a 10cm di distanza in un ambiente con basso fondo [28].**

Alfa Bq/cm <sup>2</sup>	Beta/Gamma		Beta/Gamma <sup>4</sup> di bassa tossicità	Azioni
	Bq/cm <sup>2</sup>	mSv/h	Bq/cm <sup>2</sup>	
> 10 <sup>3</sup>	> 10 <sup>4</sup>	2-3 μSv/h	>10 <sup>6</sup>	<p>Richieste:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prevenzione di ingestione involontaria</li> <li>- Limitazione della diffusione della contaminazione</li> <li>- Decontaminazione</li> <li>- Iodioprofilassi (per contaminazione con radioiodio)</li> <li>- Esecuzione di esami medici e trattamenti sanitari</li> <li>- Registrazione per il follow-up medico a lungo termine</li> <li>- Esecuzione di assistenza psicologica (in particolare per donne in stato di gravidanza).</li> </ul>
>10 <sup>2</sup>	>10 <sup>3</sup>	0,2-0,3 μSv/h	>10 <sup>5</sup>	<p>Consigliabili:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prevenzione di ingestione involontaria</li> <li>- Limitazione della diffusione della contaminazione</li> <li>- Decontaminazione</li> <li>- Iodioprofilassi (per contaminazione con radioiodio)</li> <li>- Valutare la registrazione per il follow-up medico a lungo termine</li> <li>- Esecuzione di assistenza psicologica (in particolare per donne in stato di gravidanza).</li> </ul>
>10	>10 <sup>2</sup>	non rivelabile	>10 <sup>4</sup>	<p>Facoltative</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Decontaminazione o consigliare una doccia e lavaggio degli abiti quando possibile</li> <li>- Assicurarsi che non sia presente un rischio significativo per la salute e informare i soggetti coinvolti sui centri per informazioni supplementari</li> <li>- Rilasciare i soggetti coinvolti</li> </ul>
rivelabile e <1	rivelabile e <10 <sup>2</sup>	non rivelabile	rivelabile e <10 <sup>4</sup>	<p>Nessuna Azione</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Assicurarsi che i soggetti coinvolti non siano soggetti a rischi significativi per la salute e dare indicazione sui centri per informazioni supplementari</li> <li>- Rilasciare i soggetti coinvolti</li> </ul>

<sup>4</sup> Sono considerati beta/gamma di bassa tossicità i seguenti radionuclidi: <sup>3</sup>H, <sup>51</sup>Cr, <sup>55</sup>Fe, <sup>63</sup>Ni, <sup>99m</sup>Tc.


	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione IRP-P000-004	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 20	di 49
---	-----------------------------	--	-----------	---------------	------------	----------

Tabella 4: Livelli tipicamente impiegati nell'industria in condizioni di buona pratica (non sono associati ad un rischio radiazione) [28].

Contaminazione	Pelle (Bq/cm <sup>2</sup> )
Alfa	0,1
Beta/Gamma	10
Beta/Gamma di bassa tossicità <sup>5</sup>	1000

<sup>5</sup> Sono considerati beta/gamma di bassa tossicità i seguenti radionuclidi: <sup>3</sup>H, <sup>51</sup>Cr, <sup>55</sup>Fe, <sup>63</sup>Ni, <sup>99m</sup>Tc.

## Allegato 1. Strumenti di misura

Il contaminometro deve essere idoneo alla misura della specifica radiazione da rivelare (alfa, beta, fotoni) e inoltre deve essere in grado di misurare attività inferiori ai limiti di contaminazione superficiale con cui i dati acquisiti devono essere confrontati. Lo strumento deve quindi avere un limite di rivelazione adeguato alla tipologia di misura da eseguire e deve fornire un grado di accuratezza necessario per la campagna di misura [16].

Prima di effettuare un monitoraggio con un contaminometro si deve prendere visione del manuale di misura dello strumento approfondendo le nozioni relative al suo funzionamento e alla tipologia di letture fornite (cps, Bq, Bq/cm<sup>2</sup>).

Le prestazioni del rivelatore non dipendono solo dall'efficienza dello strumento ma anche dalla dimensione della finestra di rivelazione. Le finestre più grandi sono utili in particolare per le misure della contaminazione su grandi superfici.

La taratura dello strumento deve essere eseguita periodicamente presso laboratori qualificati, i test devono seguire protocolli scritti e ampiamente documentati [16, 24].

Per garantire l'idoneità dello strumento all'esecuzione di misure di contaminazione superficiale è opportuno eseguire una prima conferma metrologica o *test before first use* (TBFU) [15]. Il test può essere fatto dal costruttore o dagli utilizzatori.

Alcune prove del test possono essere ripetute periodicamente (conferma metrologica periodica) poiché le prestazioni dello strumento possono variare con il tempo, i componenti possono deteriorarsi e danneggiarsi con l'uso. Un elenco dei test richiesti per i contaminometri è presente nella Tabella 5. Si può per esempio definire un intervallo temporale di sei mesi per la conferma metrologica periodica; tutti i risultati ottenuti devono rimanere all'interno della tolleranza prevista del 25% e in caso contrario lo strumento dovrà essere nuovamente tarato indipendentemente dalla periodicità di taratura prevista [1].

Nella seguente tabella sono riassunti i test generalmente richiesti per i contaminometri.

**Tabella 5 Elenco dei test generalmente richiesti per la conferma metrologica dei contaminometri [15].**

<b>Strumento</b>	<b>TBFU / Prima Conferma Metrologica</b>	<b>Conferma Metrologica Periodica</b>
Contaminazione $\alpha$	Dispersione della luce Risposta alla contaminazione $\alpha$ Linearità Uniformità della risposta Scarto dei conteggi $\beta$ Rateo di conteggio del fondo	Dispersione della luce Risposta alla contaminazione $\alpha$ Linearità  Scarto dei conteggi $\beta$ Rateo di conteggio del fondo
Contaminazione $\beta$	Dispersione della luce Risposta alla contaminazione $\beta$ Linearità Uniformità della risposta Rateo di conteggio del fondo	Dispersione della luce Risposta alla contaminazione $\beta$ Linearità  Rateo di conteggio del fondo
Contaminazione $\gamma$	Dispersione della luce Risposta alla contaminazione $\gamma$ Linearità Uniformità della risposta Rateo di conteggio del fondo	Dispersione della luce Risposta alla contaminazione $\gamma$ Linearità  Rateo di conteggio del fondo

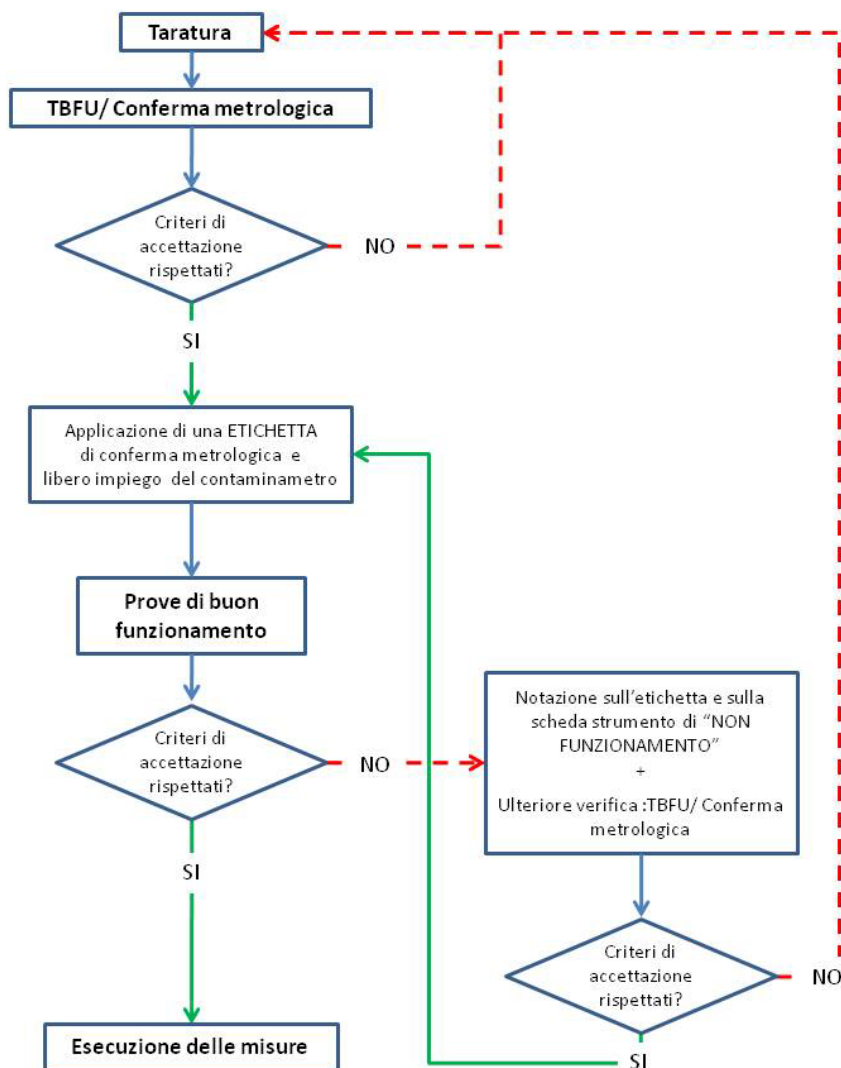
Il controllo di buon funzionamento dipende dalle modalità di utilizzo e di funzionamento dello strumento. Esso deve originare una risposta con un grado di confidenza tale da garantire il buon funzionamento dello strumento in accordo con il certificato di taratura.

La frequenza del controllo di buon funzionamento consigliata è prima di ogni utilizzo (quotidianamente se l'utilizzo è frequente). Variazioni della risposta dello strumento superiori al 25% rispetto a quelle aspettate devono portare ad una nuova taratura dello strumento [1].

Per meglio illustrare la sequenza delle operazioni necessarie per un corretto impiego di un contaminometro in Figura 4 è illustrato uno schema del flusso delle operazioni di taratura, di conferma metrologica e di buon funzionamento utile per l'impiego dei contaminometri.


Si riporta inoltre di seguito un esempio di una Scheda Strumento definita per i contaminometri [25] applicata ad un Berthold LB124 in dotazione presso l'ENEA Casaccia. La Scheda Strumento è essenzialmente costituita di tre parti:

- i. descrizione dello strumento (dati anagrafici, caratteristiche tecniche e dati di taratura);
- ii. descrizione delle modalità di esecuzione della conferma metrologica e della modalità di controllo di buon funzionamento;
- iii. tabelle dati (includono tutti i valori di riferimento per la conferma metrologica ed eventuali note relative al controllo di buon funzionamento).



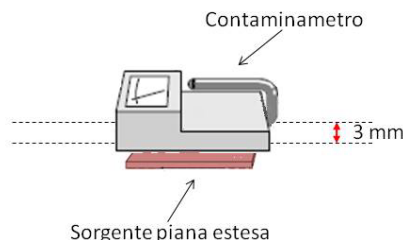
**Figura 4** Schema del flusso delle operazioni di taratura, di conferma metrologica e di buon funzionamento per l'impiego dei contaminometri.



	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	24	49

## CONFERMA METROLOGICA (lettura della sorgente di prova o del sistema di riferimento)

- Eseguire la conferma metrologica quando uno strumento ( nuovo o riparato ) viene consegnato munito del suo certificato di taratura.
- Es. Per questo scopo utilizzare le due sorgenti piane estese AMERSHAM alfa e beta emettitore di circa 150 cm<sup>2</sup>, VY 48 di <sup>241</sup>Am 241 e AA207 di <sup>90</sup>Sr / <sup>90</sup>Y.
- Eseguire una lettura di fondo in s<sup>-1</sup> e successivamente posizionare la superficie del rivelatore sulla sorgente piana ad una distanza di 3mm, in tale geometria di acquisizione effettuare una misura in s<sup>-1</sup>.



- Impiegando i valori misurati e i dati di riferimento del certificato di taratura effettuare la conferma metrologica applicando la seguente formula:

$$A_s = \frac{(R - B)}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}$$

Dove:

R= lettura media osservata in s<sup>-1</sup>  
(con R=N<sub>R</sub>/t<sub>R</sub> con N<sub>R</sub>=numero di conteggi totali della misura nel tempo t<sub>R</sub>)

B = rateo di conteggio medio di fondo in s<sup>-1</sup>  
(con B=N<sub>B</sub>/t<sub>B</sub> con N<sub>B</sub>=numero di conteggi totali del fondo nel tempo t<sub>B</sub>)

W = area attiva del rivelatore

ε<sub>i</sub> = efficienza dello strumento data dal certificato di taratura

ε<sub>s</sub> = efficienza della sorgente di contaminazione  
(pari 0,25 per α e per beta con E<sub>βmax</sub> compreso tra 0.15 e 0.4 MeV e 0,5 per β)

ε<sub>d</sub>=probabilità di emissione per la specifica radiazione considerata.


- Confrontare il valore calcolato con l'attività della sorgente piana, si deve considerare accettabile una variazione massima del 25%.
- In seguito a ogni verifica successiva la lettura strumentale potrà differire da quella iniziale nel rispetto della tolleranza prevista (massimo 20%).

## MODALITA' DEL CONTROLLO DI BUON FUNZIONAMENTO

- Verificare le condizioni generali dello strumento (danni evidenti)
- Verificare lo stato della batteria dello strumento prima di ogni utilizzo.
- Eseguire una lettura di fondo in s<sup>-1</sup> e registrare il dato nell'apposita tabella (la misura deve essere effettuata sempre nelle stesse condizioni: stessa superficie, stesso locale).
- Nella medesima modalità di esecuzione prevista per la conferma metrologica impiegare la sola sorgente di <sup>241</sup>Am. Posizionare la superficie del contaminometro sulla sorgente piana ad una distanza di 3mm ed effettuare una lettura in s<sup>-1</sup>. Il valore acquisito si deve registrare nell'apposita tabella.
- Indicare la data del controllo e il nominativo dell'operatore.
- I valori ottenuti nel controllo periodico ad ogni utilizzo possono differire dal valore di riferimento dell'ultima conferma metrologica con una tolleranza massima del 20%. Qualora i valori superassero la tolleranza massima lo strumento non deve essere impiegato e deve essere opportunamente etichettato con chiara indicazione del NON CORRETTO FUNZIONAMENTO. Lo strumento dovrà essere nuovamente sottoposto ad una procedura di conferma metrologica e se necessario dovrà essere effettuata una nuova taratura.





	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	27	49

## Allegato 2. Certificati di taratura

L'obbligo di taratura della strumentazione impiegata in radioprotezione è stabilito nell'Art. 107 del D.Lgs.230/95 e ss.mm.ii.. La norma UNI 8143 [24] è da considerare come norma di buona tecnica. Le modalità e i metodi di prova per i controlli di taratura e di corretto funzionamento per i contaminometri portatili sono riportati nella norma UNI 8299 [4-26].

La taratura di un contaminometro deve essere legata al suo impiego, ai possibili scenari di contaminazione in cui verrà utilizzato, pertanto è bene che l'operatore faccia richiesta specifica per i radionuclidi di interesse.

Solo in pochi casi è possibile calibrare lo strumento per gli tutti i radionuclidi di interesse, più spesso si dovrà dimostrare la sua adeguatezza alla misura da eseguire. I fattori di taratura possono coprire più radionuclidi su un gruppo di superfici per differenti distanze sorgente-superficie di rivelazione.

Generalmente per emissioni alfa la taratura con un radionuclide può essere sufficiente, per le emissioni beta sono necessari due radionuclidi e per i fotoni tre o quattro. Ciò consente l'applicazione del processo di adeguamento all'impiego (fitness-for-purpose), così che i fattori di taratura potranno essere interpolati con un ragionevole grado di accuratezza per le tre emissioni (alfa, beta e fotoni).

Un tipico gruppo di sorgenti di taratura (come raccomandato dalla ISO 8769 [27]) è riportato nella seguente tabella.

**Tabella 6 Elenco delle sorgenti raccomandate per la taratura dei contaminometri.**

Radiazione	Radionuclidi
Alfa	$^{241}\text{Am}$ , $^{230}\text{Th}$
Beta	$^{14}\text{C}$ e $^{36}\text{Cl}$ (lo $^{90}\text{Sr}$ può essere usato in alternativa al $^{36}\text{Cl}$ ma è necessario considerare l'emissione beta del $^{90}\text{Y}$ )
Fotoni	$^{55}\text{Fe}$ , $^{238}\text{Pu}$ , $^{129}\text{I}$ , $^{241}\text{Am}$ , $^{57}\text{Co}$ , $^{137}\text{Cs}$ e $^{60}\text{Co}$ (tutte radiazioni filtrate per rimuovere le emissioni alfa e beta, con la sola eccezione del $^{55}\text{Fe}$ )

Un approccio pratico prevede la conferma del fattore di taratura per un gruppo di radionuclidi, alla distanza di 3mm (minima distanza tra la superficie e il punto più sporgente della parte esterna del rivelatore), con l'impiego di sorgenti uniformemente distribuite su superfici che riducano al minimo l'attenuazione della radiazione emessa. Generalmente l'area delle sorgenti deve essere maggiore di quella della finestra di rivelazione del contaminometro.

Il certificato di taratura deve essere opportunamente archiviato con lo scopo di garantire la qualità della misura, ma generalmente non accompagna lo strumento nei vari luoghi di lavoro, pertanto è opportuno dotare la strumentazione di un'apposita etichetta riportante i seguenti dati:

- descrizione dello strumento (modello e numero di serie);
- data della taratura ;
- numero del certificato di taratura;
- modello e numero di serie della sonda (se necessario);
- ratei di conteggio di riferimento per i radionuclidi di taratura.

Se uno strumento non supera i criteri previsti da un test di taratura deve essere indicato chiaramente il mal funzionamento anche sull'etichetta dello strumento per impedirne un uso improprio [12].

A titolo di esempio si riportano di seguito il test record di un contaminometro fornito dal produttore (strumento Berthold LB124) e le tabelle del relativo certificato di taratura rilasciato dall'Istituto Nazionale per la Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti ENEA. Come si può notare dal confronto di tali dati la variazione della risposta dello strumento è notevole,

<b>ENEA</b>	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	28	49

pertanto si raccomanda di utilizzare sempre i dati forniti dal centro di taratura per eseguire le valutazioni della contaminazione superficiale con metodo diretto.

**LB 124 Scint**  
**Kontaminationsmonitor**  
**Contamination Monitor**

Gerät S.-Nr./ Serial number instrument: 20-6229  
 Detektor S.-Nr./ Serial number detector: 6994  
 Änderungszustand / Revision: 03

Sichtkontrolle / Visual check: ok.:   
 Software Programm Version / Program version: 3.21  
 Datum und Uhrzeit / Date and time ok.:   
 Beleuchtung Display / illumination of display ok.:   
 Kontrasteinstellung Display / contrast of display ok.:   
 LEDs auf Tastatur / LEDs on key pad ok.:   
 Hupe / beeper ok.:   
 Speichertest / memory test ok.:   
 Stromaufnahme Grundgerät / Instruments power consumption: 131 mA  
 Nulleffekt beta - gamma ( Meßzeit 120s) / Background beta - gamma (measuring time 120s): 7,2 cps  
 Nulleffekt alpha ( Meßzeit 120s) / Background alpha (measuring time 120s): 0,02 cps

Ansprechvermögen  $\epsilon$  bezogen auf Aktivität A des Strahlers 100 x 100 mm<sup>2</sup>. Messzeit 120s  
 Efficiency  $\epsilon$  relative to activity A of reference source 100 x 100 mm<sup>2</sup>. Measuring time 120s

Berechnung nach Formel / Formula:  $\epsilon = 100 \times (n - n_{\text{Bgrd}}) / A$

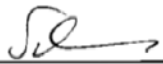
Nuklid/ Kanal Nuclid/ channel	Source # Code	A [ Bq ]	Brutto Rate Gross Rate [ cps ]	Netto Rate Net Rate [ cps ]	$\epsilon$ [ % ]
<sup>14</sup> C / $\beta$	OY565	952	101	94	9,9
<sup>36</sup> Cl / $\beta$	OY564	1200	523	516	43,0
<sup>60</sup> Co / $\beta$	FC860	211	66	59	27,8
<sup>241</sup> Am / $\alpha$	OY563	1466	297	297	20,3
<sup>241</sup> Am / $\beta$	OY563	1466	82	75	5,1

Abschaltung bei Übersteuerung/ shut down in case of overflow ok.:   
 System-Dauerlauf / Endurance test.: ok.:   
 Prüfzeichen erteilt / Approved: ok.:

Bemerkungen / Remarks:

---

Calibration certificates document the traceability of reference sources to national standards.

Datum / Date: 07.10.2008  
 Prüfer / Inspector: 17  
 Unterschrift / Signature: 

erstellt / geändert: created / revised: 14.05.08 K. Barth	geprüft: approved: 26.05.08 Haefner	freigegeben: released: 06.06.08 Dr. Klett	Änd.-Nr.: change No: AE200806015	Zeichnungs-Nr. (alt): drawing No. (old): 16170
Benennung: description: Prüfprotokoll für: Endprüfung LB 124 Scint Kontaminationsmonitor Test record for Contamination Monitor LB 124 Scint			Rev.: rev.: 03	Klass.Nr. - Ident-Nr.: class. No. - item No.: 43727PK

7-40.12-24928 Seite / page 1 von / of 1

Figura 5 Test record fornito dal produttore dello strumento Berthold LB124.


	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	29	49

Tabella 7: Efficienza del compresso di misura alla radiazione alfa: tabella 2 del certificato di calibrazione N.1298/C dello strumento Berthold LB124.


Sorgente	Letture (s <sup>-1</sup> )	Efficienza (%)
<sup>241</sup> Am	270,0	39,3

Tabella 8: Efficienza del compresso di misura alla radiazione beta: tabella 3 del certificato di calibrazione N.1297/C dello strumento Berthold LB124.

Sorgente	Letture (s <sup>-1</sup> )	Efficienza (%)
<sup>14</sup> C	952,2	21,7
<sup>147</sup> Pm	21,8	23,6
<sup>137</sup> Cs	1818,0	58,4
<sup>36</sup> Cl	3159,2	59,4
<sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y	1934,8	53,7

Tabella 9: Efficienza del compresso di misura alla radiazione gamma: tabella 4 del certificato di calibrazione N.1297/C dello strumento Berthold LB124.

Sorgente	Letture (s <sup>-1</sup> )	Efficienza (%)
<sup>129</sup> I	877,2	9,6
<sup>137</sup> Cs	24,0	0,80

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	30	49

### Allegato 3. Velocità di una misura con un contaminometro

La modalità di utilizzo del contaminometro per indagini su ampie superfici è definita RATEMETER o SURVEY; è generalmente usata per valutazioni qualitative con lo scopo di distinguere i casi CONTAMINAZIONE SI/ CONTAMINAZIONE NO e si esegue muovendo lo strumento sulla superficie da analizzare.

La velocità di monitoraggio, durante l'esecuzione di un simile controllo della contaminazione superficiale, è la velocità con cui si muove il rivelatore garantendo la rivelabilità dei livelli di contaminazione previsti per l'area di lavoro. Tale grandezza deve essere opportunamente definita a priori e si deve tener conto dei vari parametri che possono condizionare la misura [12].

Si riportano di seguito due esempi per la definizione della velocità di monitoraggio per la contaminazione alfa e beta sulla superficie corporea. Si allega inoltre un Modulo di registrazione dei dati per la contaminazione corporea [28,30].

#### a) Survey per contaminazione beta

Si ipotizzi di voler verificare la contaminazione beta su una superficie corporea a seguito di una esposizione della persona in esame ad una sorgente non sigillata di  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ .

Si consideri il livello di riferimento per la contaminazione beta pari a  $0,4\text{Bq}/\text{cm}^2$  e si valuti la velocità di monitoraggio per un rivelatore con le seguenti caratteristiche:

Tabella 10 Dati del contaminometro LB 124 Berthold (certificato di calibrazione N.1297/C).

Area Attiva	118mm×145mm
Efficienza per beta $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	53,7 %
Fondo beta	16cps

Il livello di riferimento derivato, ottenuto applicando la formula Eq. 1, sarà pari a 34 cps e il segnale di allarme dovrà essere impostato al massimo pari a tale valore.

Se si assume che il contaminometro in modalità rateometro abbia un tempo di integrazione fisso  $t_{\text{int}}$  con la risposta visualizzata alla fine del tempo di conteggio, il rivelatore di larghezza L dovrà scansionare un'area di dimensioni A ad una velocità massima pari a  $v_{\text{max}} = A/(t_{\text{int}} \cdot L)$ .


Tabella 11 Valori generici per il contaminometro LB 124 Berthold in modalità rateometro su superficie corporea per misure di contaminazione beta.

$t_{\text{int}}$ (s)	2
A ( $\text{cm}^2$ )	300
L (cm)	118

Con i valori generici riportati nella Tabella 11 si ottiene la velocità di scansione massima inferiore a 2 cm/s. Saranno sufficienti 14 s per effettuare la scansione e nel caso in cui si supererà il livello di riferimento derivato sarà possibile, senza alcun errore, sentire il segnale di allarme.

#### b) Survey per contaminazione alfa

In questo secondo esempio, analogamente a quanto discusso per le particelle beta, si ipotizzi di voler verificare la contaminazione alfa su una superficie corporea a seguito di una esposizione della persona in esame alla sorgente non sigillata  $^{241}\text{Am}$ .

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	31	49

Il livello di riferimento per la contaminazione alfa pari è posto pari a  $0,04\text{Bq/cm}^2$ . Si verifichi la velocità di monitoraggio per un rivelatore con le seguenti caratteristiche:

**Tabella 12 Dati del contaminometro LB 124 Berthold (certificato di calibrazione N.1298/C).**

<b>Area Attiva</b>	118mm×145mm
<b>Efficienza per alfa <sup>241</sup>Am</b>	39,3 %
<b>Fondo alfa</b>	-

Il livello di riferimento derivato, ottenuto applicando la formula Eq. 1, sarà pari a 0,7 cps e quindi il segnale di allarme dovrà essere impostato al massimo pari a tale valore.

In questo caso per poter rivelare 7 colpi è necessario impostare il tempo di integrazione pari a 10 s.

**Tabella 13 Valori generici per contaminometro LB 124 Berthold in modalità rateometro su superficie corporea per misure di contaminazione alfa.**

<b>t<sub>int</sub> (s)</b>	10
<b>A (cm<sup>2</sup>)</b>	300
<b>L (cm)</b>	118

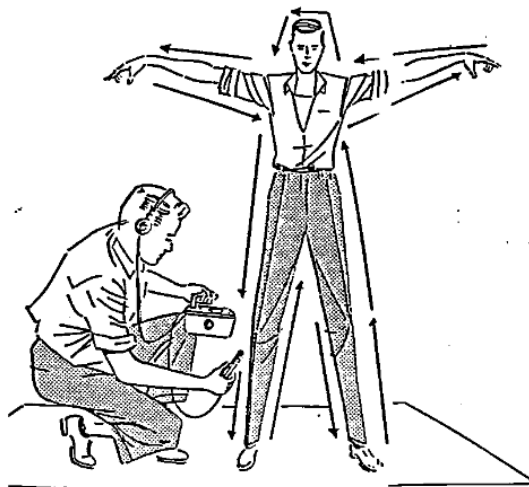
Con il valori generici riportati nella Tabella 13, si ottiene la velocità di scansione massima di molto inferiore a 1cm/s e sarà necessario poco più di un minuto per effettuare la scansione. In pratica per rispettare il livello di riferimento si deve stazionare per 10s sulla superficie in esame per poi muoversi su un'area adiacente.

<b>ENEA</b>	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
		IRP-P000-004	0	L	32	49

## MODULO DI REGISTRAZIONE DATI DI CONTAMINAZIONE ESTERNA DEL PERSONALE

### MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA SURVEY

- Il monitoraggio di personale potenzialmente contaminato deve avvenire al più presto possibile per consentire la prevenzione della diffusione della contaminazione.
- La contaminazione esterna si valuta con un monitoraggio della pelle e degli indumenti.
- Per il personale che richiede cure mediche si deve dare priorità al trattamento medico e se possibile si deve assistere il personale medico per minimizzare i rischi di contaminazione.
- Utilizzare il contaminometro in modalità rateometro/survey assicurandosi di avere preimpostato l'allarme sonoro per la tipologia di contaminante da individuare.
- Ricoprire il contaminometro per evitarne la contaminazione (lasciare scoperta la finestra attiva di rivelazione). Il rivelatore deve avere almeno 20 cm<sup>2</sup> di area attiva.
- Determinare la misura di fondo e verificare che non si discosti dal valore medio (altrimenti effettuare la survey in un altro luogo più idoneo).
- Partendo dalla testa muovere il rivelatore seguendo il profilo del corpo posizionando la finestra di rivelazione a circa 1 cm dalla superficie (circa 3 mm se la contaminazione è alfa o beta di bassa energia) facendo attenzione ad evitare ogni genere di contatto (vedi figura allegata).



Il rivelatore deve muoversi ad una velocità che sia in grado di garantire la rivelabilità dei livelli di contaminazione previsti per l'area di lavoro (es. per un rivelatore con area attiva di circa 170 cm<sup>2</sup> si consideri una velocità di circa 2cm/s per beta emettitori mentre per alfa emettitori è necessario sostare 10s sulla superficie da analizzare).

- Nel RAPPORTO DI MISURA riportare le letture in corrispondenza delle posizioni in cui sono eseguite.
- Si devono considerare le aree associate ai valori maggiori di 2-3 volte il fondo come superfici contaminate.
- Si devono decontaminare tutte le superfici contaminate.

### STRUMENTO DI MISURA

*Marca e Modello:*

*Superficie della finestra dello strumento W(cm<sup>2</sup>):*

### CERTIFICATO DI CALIBRAZIONE

*Data:*

*Sorgenti di riferimento:*

### INFORMAZIONI SPECIFICHE

**Nome e Cognome:** \_\_\_\_\_

**Contaminante:**

alfa-emettitore       beta-emettitore       gamma-emettitore

**Ulteriori dettagli:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA MISURA

**Modalità di acquisizione:**

Modalità Rateometro/Survey

Tempo di integrazione dello strumento:  $t_{INT}(s) =$  \_\_\_\_\_

**Modalità di funzionamento dello strumento:**

Contaminazione $\alpha$	
Contaminazione $\beta-\gamma$	
Contaminazione $\alpha / \beta-\gamma$	

**Distanza tra strumento e superficie:**

Distanza per Misura $\alpha$ (mm)	
Distanza per Misura $\beta$ (mm)	

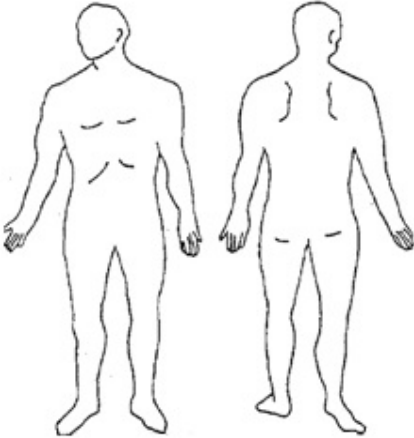
**Livello di riferimento per la contaminazione e livello derivato:**

L.R. (Bq/cm <sup>2</sup> ) per Misura $\alpha$		L.R. (Bq/cm <sup>2</sup> ) per Misura $\beta-\gamma$	
L.R.D.(cps) per Misura $\alpha$		L.R.D.(cps) per Misura $\beta-\gamma$	

**Letture di fondo:**

B (cps) per Misura $\alpha$		B (cps) per Misura $\beta-\gamma$	
-----------------------------	--	-----------------------------------	--

### RAPPORTO DI MISURA


_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____
_____		_____

### ESITO

**Procedura di decontaminazione necessaria:**

SI       NO

**DATA:** \_\_\_\_\_ **Operatore:** \_\_\_\_\_

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag. di</b> 34 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	-------------------------

## Allegato 4. Lista delle azioni da compiere

Prima di effettuare un sopralluogo è opportuno [12]:

- verificare che lo strumento da impiegare sia stato calibrato;
- verificare le condizioni generali dello strumento (danni evidenti);
- verificare la batteria dello strumento;
- eseguire una misura di fondo e verificare la risposta dello strumento ad una piccola sorgente radioattiva nota (è consigliabile utilizzare la sorgente impiegata per le operazioni di conferma metrologica).

Per le misure di contaminazione superficiale con metodi diretti si riporta, a titolo di esempio, una breve lista di azioni da compiere [16]:

- Identificare il contaminante.
- Identificare tra i contaminanti i radionuclidi di maggior interesse.
- Verificare lo schema di decadimento dei radionuclidi di interesse.
- Scegliere la strumentazione adeguata al contaminante dominante con un'area di rivelazione idonea.
- Identificare l'area contaminata e verificare se ci sono problemi di alto fondo.
- Quando necessario prelevare un campione della contaminazione ed eseguire un'analisi spettrometrica per gamma emettitori e/o un'analisi radiochimica per alfa e beta emettitori. Confrontare i risultati con la lista dei presunti contaminati.

Se durante un sopralluogo si ottengono valori di contaminazione superiori ai livelli derivati definiti nel paragrafo 10 si deve:


- Provvedere alla eventuale pulizia di superfici e/o altro materiale raccogliendo i rifiuti solidi prodotti secondo le procedure di raccolta dei rifiuti radioattivi.
- Eseguire un nuovo set di misure e verificare che i risultati numerici siano inferiori ai livelli di contaminazione previsti.

Se la contaminazione non è rimovibile e l'azione di "pulizia" non ha buon esito l'Esperto Qualificato potrà analizzare il caso e definire eventuali nuove azioni da compiere.

Si riporta un breve elenco dei fattori che possono condizionare la misura [12]:

- porosità della superficie;
- presenza di acqua, grasso, sporco, polvere, vernice sulla superficie;
- tipo ed energia della radiazione;
- costante di tempo dello strumento;
- condizioni/costruzione della superficie;
- distribuzione del potenziale contaminante.

Per ogni laboratorio e/o impianto è opportuno definire specifiche procedure di monitoraggio cui allegare i relativi rapporti di misura eseguiti con la periodicità definita dall'Esperto Qualificato.

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag. di</b> 35 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	-------------------------

## **Allegato 5. Scheda di misura per il tecnico di radioprotezione**

La scheda di misura per il tecnico di radioprotezione ha lo scopo di riassumere brevemente tutte le informazioni necessarie alla elaborazione dei dati dell'Esperto Qualificato.

Si tratta di una scheda standard che può essere impiegata per monitoraggi di routine in laboratori o impianti ispirata alla Scheda Rapporto di Misura del documento ISPESL-AIRP-ANPEQ-ENEA [24].

Nei sopralluoghi periodici è importante che i dati di misura in punti specifici siano facilmente reperibili così da consentire una prima verifica dello stato delle aree monitorate anche sulla base dei valori non elaborati e forniti dallo strumento.

Si ricorda che è importante registrare tutti i valori di lettura della misura con contaminometro affinché possano essere confrontati con il valore di fondo e con gli appropriati limiti [11].

La scheda di misura è composta da:

- i. una prima parte esclusivamente descrittiva: include tutti i parametri necessari per la misura della contaminazione superficiale con metodi diretti e riassume tutte le operazioni che il tecnico di radioprotezione deve eseguire e segnalare per una corretta rielaborazione dei dati;
- ii. una seconda parte specifica del laboratorio/impianto: illustra su una planimetria dettagliata i punti di campionamento /misura prescelti dell' Esperto Qualificato;
- iii. una terza parte numerica: consiste nel rapporto di misura dettagliato con i valori numerici ottenuti nella campagna di misura (possono essere presenti più rapporti di misura).

Si allega di seguito un esempio di scheda con 13 punti di misura distribuiti su due tipologie di superfici, pavimento in linoleum e superfici da lavoro in materiale plastico.

In monitoraggi di routine l'Esperto Qualificato può fornire valori derivati espressi in cps correlati allo specifico strumento impiegato (ipotizzandone il corretto funzionamento) e alle definite condizioni di misura per le superfici considerate.

E' fondamentale definire un codice identificativo della scheda di misura che deve essere richiamato nella la scheda di elaborazione dati associata.

<b>SCHEDA MISURA</b>	<b>Codice: es.123</b>
----------------------	-----------------------

<b>DEFINIZIONE DELLA ATTIVITA' SUPERFICIALE DA MISURA DIRETTA</b>
---

ATTIVITA' SUPERFICIALE FISSA E RIMOVIBILE (Bq/cm<sup>2</sup>):

$$A_s = \frac{(R - B)}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}$$

Dove:

R= lettura osservata (s<sup>-1</sup>)

con R=N<sub>R</sub>/t<sub>R</sub> con N<sub>R</sub>=numero di conteggi totali della misura nel tempo t<sub>R</sub>

B = rateo di conteggio di fondo (s<sup>-1</sup>)

con B=N<sub>B</sub>/t<sub>B</sub> con N<sub>B</sub>=numero di conteggi totali del fondo nel tempo t<sub>B</sub>

W = area attiva del rivelatore

ε<sub>i</sub>=efficienza dello strumento

ε<sub>s</sub>=efficienza della sorgente di contaminazione

ε<sub>d</sub>=probabilità di emissione per la specifica radiazione considerata.

<b>MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA MISURAZIONE DIRETTA</b>
--

- La misura di contaminazione diretta deve essere eseguita nelle posizioni indicate nella figura allegata alla DESCRIZIONE DEL SITO/MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO.
- Il codice di misura della tabella RAPPORTO DI MISURA coincide con il numero riportato nella planimetria in DESCRIZIONE DEL SITO/MODALITÀ DI CAMPIONAMENTO.
- Scegliere il contaminometro idoneo alla misura da eseguire per prestazioni e dimensioni (vedere i relativi libretti di istruzione degli strumenti).
- Tutti i campi presenti in STRUMENTO DI MISURA devono essere compilati, indicando la data in cui è stata effettuata l'ultima calibrazione dello strumento e i radionuclidi con cui è stato tarato lo strumento.
- Specificare la modalità con cui si è eseguita la misura se in integrazione o in rateo di conteggio e indicare sempre il tempo di integrazione o il tempo di riferimento impostato per l'acquisizione in modalità rateo.
- Specificare il tipo di contaminazione misurata (alfa, beta-gamma o alfa e beta-gamma).
- Indicare la distanza tra strumento di misura e superficie (si raccomanda una distanza di 3mm per misure alfa o beta molli).
- Considerare i valori dello strumento in cps (non utilizzare i valori di misura in Bq o Bq/cm<sup>2</sup> se non sotto precisa richiesta da parte dell'Esperto Qualificato).
- Eseguire una misura di fondo per ogni tipo di misura (alfa, beta-gamma) su superfici analoghe alle superfici da analizzare, assicurandosi che non siano contaminate. Selezionare il tipo di superficie su cui si devono eseguire le misure tra quelle elencate e se non presente nell'elenco specificare nell'apposito campo bianco.
- Ogni RAPPORTO DI MISURA include i punti di misura eseguiti su superfici simili. Si ricorda che i valori di fondo variano con il materiale di riferimento, salvo particolari casi in cui si possono comunque considerare i valori di fondo medio riportati in tabella:

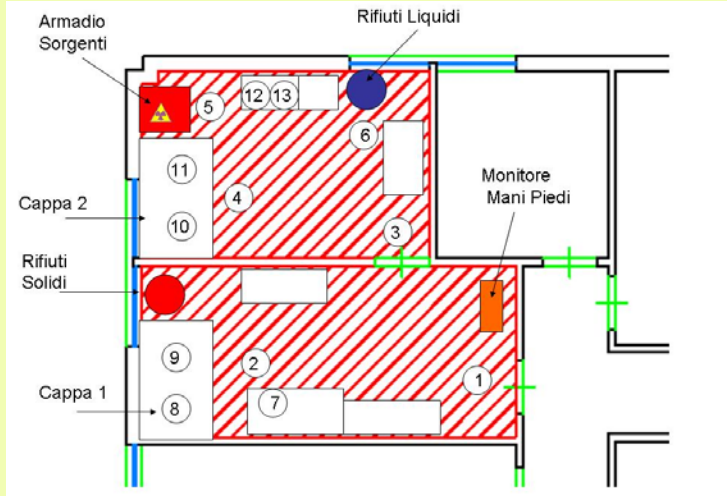
Emissione	Fondo (s <sup>-1</sup> )	Superficie di riferimento
Beta-Gamma	1	20-30 cm <sup>2</sup>
Alfa	< 0.1	150 cm <sup>2</sup>

- Indicare nella tabella del RAPPORTO DI MISURA i tempi utilizzati per la misura di fondo e per tutte le misure previste dal campionamento.
- Verificare che la risposta del contaminometro sia stabile ed eseguire una misura per ogni punto di campionamento. Riportare i valori letti nella tabella del RAPPORTO DI MISURA.  
Se si dispone di dati analoghi acquisiti in precedenti sopralluoghi verificare che i valori misurati siano confrontabili con lo storico. Se si dispone di livelli derivati forniti per il caso specifico dall'Esperto Qualificato eseguire l'opportuno confronto con i valori misurati.
- **ATTENZIONE: se la misura alfa è pari a 3 volte il valore di fondo avvertire l'Esperto Qualificato.**
- Indicare eventuali note nell'apposito spazio (utilizzo di distanziatori fissi, copertura dello strumento per evitarne la contaminazione, ....).
- Inserire la data e firma dell'operatore che ha eseguito la misura

**DESCRIZIONE DEL SITO / MODALITA' DI CAMPIONAMENTO**

**Sito:** \_\_\_\_\_ **Oggetto:** \_\_\_\_\_

**Schema di campionamento:**



**STRUMENTO DI MISURA**

**Marca e Modello:** \_\_\_\_\_

**Superficie della finestra dello strumento W (cm<sup>2</sup>):** \_\_\_\_\_

<b>CERTIFICATO DI CALIBRAZIONE</b>	<b>Data:</b> _____	<b>Sorgenti di riferimento:</b> _____

**MODALITA' DI ESECUZIONE DELLA MISURA**

**Modalità di acquisizione:**

Rateo di conteggio <input type="checkbox"/>	Integrazione <input type="checkbox"/>
Tempo di riferimento dello strumento: $t_R(s) =$ _____	Tempo di misura impostato: $t_R(s) =$ _____

**Modalità di funzionamento dello strumento:**

Contaminazione $\alpha$	
Contaminazione $\beta$ - $\gamma$	
Contaminazione $\alpha / \beta$ - $\gamma$	

**Distanza tra strumento e superficie:**

Distanza per Misura $\alpha$ (mm)	
Distanza per Misura $\beta$ (mm)	

<b>RAPPORTO DI MISURA</b>	<b>N° es.1</b>
---------------------------	----------------

Tipo di superficie:

Plastica       Linoleum       Alluminio       Acciaio inossidabile   
 Ferro       Vernice       Resina       Legno   
 Cemento       Marmo       Piastrelle       Carta   
 \_\_\_\_\_

$t_B(s)$	B(cps)

	$t_R (s)$	Misura alfa R(cps)	Misura beta-gamma R(cps)
P- 1			
P- 2			
P- 3			
P- 4			
P- 5			
P- 6			

Tipo di superficie:

Plastica       Linoleum       Alluminio       Acciaio inossidabile   
 Ferro       Vernice       Resina       Legno   
 Cemento       Marmo       Piastrelle       Carta   
 \_\_\_\_\_

$t_B(s)$	B(cps)

	$t_R (s)$	Misura alfa R(cps)	Misura beta-gamma R(cps)
P- 7			
P- 8			
P- 9			
P- 10			
P- 11			
P- 12			
P- 13			


**Note Conclusive:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

<b>DATA:</b>	<b>Compilatore:</b>
--------------	---------------------

	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b> IRP-P000-004	<b>Rev.</b> 0	<b>Distrib.</b> L	<b>Pag. di</b> 39 49
---	------------------------------------	---	------------------	----------------------	-------------------------


## **Allegato 6. Scheda di misura per l'Esperto Qualificato**

La *Scheda elaborazione dati* è di pertinenza dell'Esperto Qualificato. Essa è costituita di due parti:

- i. una descrittiva: in cui è esposta la modalità di elaborazione dei dati con le relative formule;
- ii. una riassuntiva: in cui sono riportati i dati numerici, risultato delle elaborazione dei dati forniti dalla *Scheda di misura per il tecnico della radioprotezione operativa*, e i livelli di riferimento per la tecnica di misura considerata.

Nella sorveglianza fisica può essere utile elaborare i dati relativi alle ispezioni periodiche successive per verificare che non vi siano sostanziali variazioni; in un grafico con i valori delle date in ascissa e in ordinata le misure elaborate per ogni singolo punto si può verificare la costanza dei dati e dell'approccio di misura nel tempo [11].

Nell'esempio allegato si considera il laboratorio già illustrato nell' Allegato 5 ma e per brevità di esposizione si riportano esclusivamente le schede di misura relative ai soli primi 6 punti di campionamento eseguiti sulla pavimentazione. Analoghe schede di misura dovrebbero essere elaborate per i restanti punti di campionamento relativi alle cappe e ai banchi di lavoro.

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	40	49

**SCHEDA ELABORAZIONE DATI** **Rif. Codice Scheda Misura: es.123**

**MODALITA' DI ELABORAZIONE DELLA MISURAZIONE DIRETTA**

Si considerano trascurabili le correzioni dovute alle variazioni delle condizioni ambientali (variazioni di temperatura e pressione).

La misura di fondo è acquisita su superfici analoghe sicuramente non contaminate.

L'elaborazione si basa sui valori ottenuti in integrazione o, per le acquisizioni in modalità rateo, sui valori medi calcolati a partire da tre misure ripetute nelle medesime condizioni.

I risultati numerici sono ottenuti dall'applicazione delle norme ISO 7503-1 e ISO 11929, attraverso l'elaborazione dei dati acquisiti con un opportuno foglio di calcolo in cui sono inserite le seguenti formule.

**ATTIVITA' SUPERFICIALE FISSA E RIMOVIBILE (Bq/cm<sup>2</sup>):**

$$A_s = \frac{(R-B)}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}$$

Dove:

R= lettura osservata (s<sup>-1</sup>) → con R=N<sub>R</sub>/t<sub>R</sub> con N<sub>R</sub>=numero di conteggi totali della misura nel tempo t<sub>R</sub>

B = rateo di conteggio di fondo (s<sup>-1</sup>) → con B=N<sub>B</sub>/t<sub>B</sub> con N<sub>B</sub>=numero di conteggi totali del fondo nel tempo t<sub>B</sub>

W = area attiva del rivelatore

ε<sub>i</sub>=efficienza dello strumento

ε<sub>s</sub>=efficienza della sorgente di contaminazione

ε<sub>d</sub>=probabilità di emissione per la specifica radiazione considerata.

**INCERTEZZA (Bq/cm<sup>2</sup>):**

$$u(A_s) = \sqrt{\left(\frac{1}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}\right)^2 \left[\frac{N_R}{t_R^2} + \frac{N_B}{t_B^2}\right] + \left[\left(\frac{u(W)}{W}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_i)}{\varepsilon_i}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_s)}{\varepsilon_s}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_d)}{\varepsilon_d}\right)^2\right]} \times A_s^2$$

Dove:

N<sub>R</sub>= conteggi totali acquisiti nel tempo di integrazione della misura

t<sub>R</sub>=tempo di integrazione della misura

N<sub>B</sub>= conteggi totali di fondo acquisiti nel tempo di integrazione della misura di fondo

t<sub>B</sub>=tempo di integrazione della misura di fondo

**LIMITI CARATTERISTICI DELLA MISURA**

Soglia di decisione (Bq/cm<sup>2</sup>):

$$A_s^* = 1,645 \times \sqrt{\left(\frac{N_B}{t_R \cdot t_B} + \frac{N_B}{t_B^2}\right) \times \left(\frac{1}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}\right)^2}$$

Con N<sub>B</sub>=B×t<sub>B</sub>.

Limite di rivelazione (Bq/cm<sup>2</sup>):

$$A_s^\# = A_s^* + 1,645 \cdot \tilde{u}(A_s^\#)$$

calcolato attraverso un processo iterativo partendo dall'approssimazione

$$A_s^\# \approx 2 \times A_s^*$$

**INTERVALLO DI CONFIDENZA**

$$A_s^< = A_s - k_p u(A_s) \quad \text{e} \quad A_s^> = A_s + k_q u(A_s)$$

Con γ pari al 5% e quindi  $p = \omega \times 0.975$  ,  $q = 1 - \omega \times 0.025$  , e


$$\omega = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{A_s/u(A_s)} \exp\left(-\frac{v^2}{2}\right) dv.$$

**MIGLIORE STIMA DEL MISURANDO**

$$\hat{A}_s = A_s + \frac{u(A_s)}{\omega \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{\frac{-A_s^2}{2 \cdot u^2(A_s)}\right\} \quad ; \quad u(\hat{A}_s) = \sqrt{u^2(A_s) - (\hat{A}_s - A_s) \cdot \hat{A}_s}$$





	<b>Istituto di Radioprotezione</b>	<b>Sigla di identificazione</b>	<b>Rev.</b>	<b>Distrib.</b>	<b>Pag.</b>	<b>di</b>
		IRP-P000-004	0	L	43	49

## **Allegato 7. Esempio di stima della contaminazione superficiale**

### **a) Valutazione del metodo di misura**

Per meglio spiegare l'applicazione delle formule introdotte nella procedura si analizzerà in questo allegato un esempio pratico di misura della contaminazione superficiale.

Si ricorda che per poter eseguire una buona misura la metodica impiegata (strumento di misura, parametri di funzionamento e modalità di esecuzione) deve garantire che il limite di rivelazione sia inferiore al limite di riferimento.

Per ogni misurando  $A_{Si}$  non negativo (con il rateo di conteggio della misura maggiore del fondo,  $R > B$ ), si ha una contaminazione superficiale pari a zero quando non è presente alcun radionuclide sulla superficie analizzata.

La soglia di decisione  $A_S^*$  distingue i valori generati dagli effetti delle fluttuazioni del fondo dai valori dovuti alla presenza di un effetto fisico realmente presente.

In pratica per effettuare una misura applicando la ISO 11929 è consigliabile effettuare i seguenti passi:

Step 1 : Analisi delle condizioni: include tutte le operazioni da compiere per ottimizzare la campagna di misura (identificazioni della grandezza da misurare, scelta del livello di riferimento, determinazione dei punti di misura, scelta del contaminometro, impostazione dei tempi di misura e di valutazione del fondo).

Step 2 : Verifica del metodo di misura: consiste nel calcolo dei limiti caratteristici e confronto con il livello di riferimento per la specifica misura di contaminazione superficiale

Step 3 : Elaborazione dei dati e rapporto di misura: comprende l'esecuzione delle misure in campo e la successiva rielaborazione dei dati applicando le formule previste dalla ISO 11929. In pratica si possono impiegare i modelli presentati negli Allegato 5 e Allegato 6.

Se il risultato della verifica del metodo (Step 2) è negativo occorre valutare migliori condizioni di misura verificando la scelta dello strumento e i relativi parametri di acquisizione.

Nella Figura 6 si riporta in maniera schematica la serie di operazioni da copiere per applicare la ISO 11929 alla misura di contaminazione superficiale con metodo diretto.

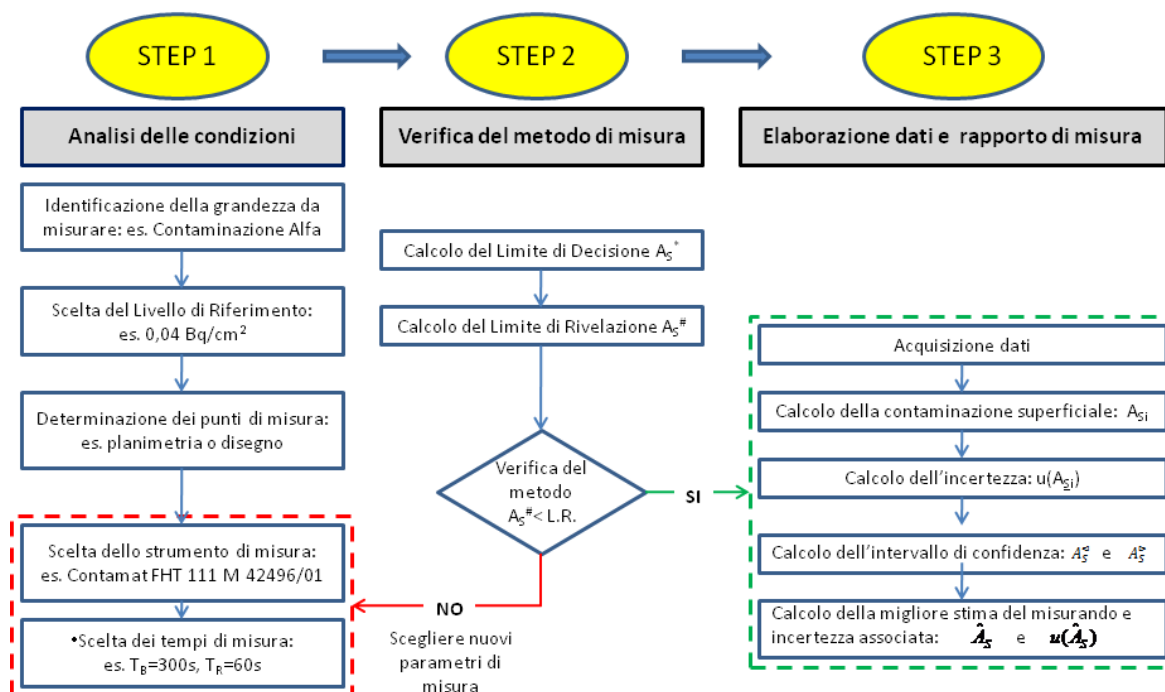



Figura 6 Schema della serie di operazioni da compiere per applicare la ISO 11929 alla misura di contaminazione superficiale con metodo diretto.

In breve si riporta nella Tabella 14 la modalità di esposizione dei risultati nel rapporto di una misura.

Tabella 14 Riassunto dei dati necessari per la documentazione da associare alla misura.

Dati acquisiti ed elaborati				Esito del il rapporto di misura	
R>B	$A_S^* (\alpha=0,05)$	$A_S^\# (\beta=0,05)$	L.R.	Risultato	Contaminazione
NO	-	-	-	$\alpha, A_S^*, \beta, A_S^\#, L.R.$ N.D. <sup>11</sup>	NO
SI	$A_S < A_S^*$	$A_S < A_S^\#$	$A_S < L.R.$	$\alpha, A_S^*, \beta, A_S^\#, L.R.$ $A_S < A_S^\#$	NO
SI	$A_S > A_S^*$	$A_S < A_S^\#$	$A_S < L.R.$	$\hat{A}_S \pm u(\hat{A}_S)$ $\alpha, A_S^*, \beta, A_S^\#, L.R.,$ $A_S^>, A_S^<$	SI, nel rispetto del livello di riferimento
SI	$A_S > A_S^*$	$A_S > A_S^\#$	$A_S < L.R.$	$\hat{A}_S \pm u(\hat{A}_S)$ $\alpha, A_S^*, \beta, A_S^\#, L.R.,$ $A_S^>, A_S^<$	SI, nel rispetto del livello di riferimento
SI	$A_S > A_S^*$	$A_S > A_S^\#$	$A_S > L.R.$	$\hat{A}_S \pm u(\hat{A}_S)$ $\alpha, A_S^*, \beta, A_S^\#, L.R.,$ $A_S^>, A_S^<$	SI, con superamento del livello di riferimento

<sup>11</sup> N.D.: valore non definibile.

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	45	49

## b) Formule per il calcolo della contaminazione superficiale con metodo diretto

In questo paragrafo si riprendono le formule dei capitoli 6, 7 e 8 e si sviluppano nel dettaglio per la misura di contaminazione superficiale con metodo diretto.

L'attività per unità di area  $A_S$  per la contaminazione fissa e rimovibile in Bq/cm<sup>2</sup> è data dalla Eq. 1:

$$A_S = \frac{(R - B)}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}$$

dove:

R= Rateo di conteggio osservato sulla superficie in indagine (s<sup>-1</sup>)

B = rateo di conteggio di un idoneo fondo (s<sup>-1</sup>)

W = area attiva del rivelatore (cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_i$ =efficienza dello strumento

$\varepsilon_s$ =efficienza della sorgente di contaminazione

$\varepsilon_d$ =probabilità di emissione per la specifica radiazione considerata

L'incertezza  $u(A_S)$  è data dalla Eq. 2:

$$u(A_S) = \sqrt{\left(\frac{1}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}\right)^2 [u^2(R) + u^2(B)] + \left[\left(\frac{u(W)}{W}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_i)}{\varepsilon_i}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_s)}{\varepsilon_s}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_d)}{\varepsilon_d}\right)^2\right] \times A_S^2}$$

Considerando l'incertezza standard per il fondo e la misura pari rispettivamente a  $u(B) = \sqrt{N_B/t_B^2}$  e  $u(R) = \sqrt{N_R/t_R^2}$ , con  $N_B$  conteggi totali di fondo acquisiti nel tempo di integrazione della misura di fondo  $t_B$  e  $N_R$  conteggi totali acquisiti nel tempo di integrazione della misura  $t_R$ , si ottiene:

$$u(A_S) = \sqrt{\left(\frac{1}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}\right)^2 \left[\frac{N_R}{t_R^2} + \frac{N_B}{t_B^2}\right] + \left[\left(\frac{u(W)}{W}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_i)}{\varepsilon_i}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_s)}{\varepsilon_s}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_d)}{\varepsilon_d}\right)^2\right] \times A_S^2}$$

La soglia di decisione data dalla Eq. 3:

$$A_S^* = k_{1-\alpha} \times \tilde{u}(0)$$


si calcola ponendo le seguenti condizioni:

- $\alpha$  pari al 5% e quindi  $k_{1-\alpha}=1,645$ ,
- $A_S=0$  (R=B) e quindi  $N_R = N_B \cdot t_R$ ,  $u(R) = \sqrt{N_B/t_R}$  e

$$\tilde{u}(0) = \sqrt{\left(\frac{N_B}{t_R \cdot t_B} + \frac{N_B}{t_B^2}\right) \times \left(\frac{1}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}\right)^2}$$

Si ottiene quindi:

$$A_S^* = 1,645 \times \sqrt{\left(\frac{N_B}{t_R \cdot t_B} + \frac{N_B}{t_B^2}\right) \times \left(\frac{1}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_s \cdot \varepsilon_d}\right)^2}$$

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	46	49

Il limite di rivelazione è la soluzione più piccola della Eq. 4:

$$A_S^\# = A_S^* + k_{1-\beta} \tilde{u}(A_S^\#)$$

si calcola ponendo le seguenti condizioni:

- $\beta$  pari al 5% e quindi  $k_{1-\beta}=1,645$ ,
  - $A_S = A_S^\#$  e quindi  $N_R^\# = B \cdot t_R + A_S^\# \cdot W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_S \cdot \varepsilon_d \cdot t_R$  e
- $$u^2(R^\#) = \frac{N_R^\#}{t_R^2} = \frac{A_S^\# \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_S \cdot \varepsilon_d \cdot W + B}{t_R}$$

Si ottiene quindi:

$$\tilde{u}(A_S^\#) = \sqrt{\left(\frac{1}{W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_S \cdot \varepsilon_d}\right)^2 \left[\frac{A_S^\# \cdot W \cdot \varepsilon_i \cdot \varepsilon_S \cdot \varepsilon_d + B}{t_R} + \frac{N_B}{t_B^2}\right] + \left[\left(\frac{u(W)}{W}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_i)}{\varepsilon_i}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_S)}{\varepsilon_S}\right)^2 + \left(\frac{u(\varepsilon_d)}{\varepsilon_d}\right)^2\right] \cdot A_S^{\#2}}$$

L'equazione finale di  $A_S^\#$  è funzione di  $A_S^*$  e si può calcolare attraverso il processo iterativo che parte dall'approssimazione (Eq. 5):

$$A_S^\# \approx 2 \times A_S^*$$

Si tenga presente che già alla terza iterazione il valore tende a stabilizzarsi (considerato il numero di cifre significative utili per il confronto con il livello di riferimento), pertanto si può considerare buono il valore di  $A_S^\#$  così ottenuto e si può confrontare con L.R..

Verificata la bontà del metodo e acquisiti i dati nei punti di campionamento prescelto, ogni qualvolta che l'effetto fisico è presente (verificata la condizione  $A_S > A_S^*$ ), si deve considerare l'intervallo di confidenza all'interno del quale è presente il valore vero del misurando con una probabilità pari a  $1-\gamma$  (generalmente posta pari al 95%).

Si calcolano quindi il limite inferiore e il limite superiore dell'intervallo di confidenza applicando le Eq. 6 e Eq. 7:

$$A_S^< = A_S - k_p u(A_S) \quad \text{e} \quad A_S^> = A_S + k_q u(A_S)$$


ponendo le seguenti condizioni:

- $\gamma$  pari al 5% e quindi  $p = \omega \cdot 0,975$  e  $q = 1 - \omega \cdot 0,025$
- $\omega$  calcolato utilizzando i valori di  $A_S$  e della sua incertezza  $u(A_S)$  ottenuti dall'elaborazione delle misure e inseriti nella Eq. 8:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{A_S/u(A_S)} \exp\left(-\frac{v^2}{2}\right) dv$$

Per concludere la misura la migliore stima della contaminazione superficiale e la sua incertezza si ottengono impiegando le Eq. 9 e Eq. 10:

$$\hat{A}_S = A_S + \frac{u(A_S)}{\omega \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left\{\frac{-A_S^2}{2 \cdot u^2(A_S)}\right\} \quad ; \quad u(\hat{A}_S) = \sqrt{u^2(A_S) - (\hat{A}_S - A_S) \cdot \hat{A}_S}$$

	Istituto di Radioprotezione	Sigla di identificazione	Rev.	Distrib.	Pag.	di
		IRP-P000-004	0	L	47	49

Per valori di  $A_S \geq 4 \cdot u(A_S)$ , con  $\omega=1$ ,  $\gamma=0,05$  e quindi  $k_{1-\frac{\gamma}{2}}=1,96$ , si ottengono le formule semplificate:

$$A_S^{\underline{}} = A_S - 1,96 \cdot u(A_S) \quad \text{e} \quad A_S^{\overline{}} = A_S + 1,96 \cdot u(A_S).$$

e si può porre:

$$\widehat{A}_S = A_S \quad \text{e} \quad u(\widehat{A}_S) = u(A_S) .$$

### c) Esempio numerico e foglio di calcolo

In un laboratorio in cui si manipola un radionuclide alfa emettitore, es.  $^{241}\text{Am}$ , si devono eseguire misure di contaminazione superficiale con un contaminometro CONTAMAT FHT 11M. Il livello di riferimento per una zona sorvegliata, relativamente alla contaminazione superficiale alfa è  $0,04 \text{ Bq/cm}^2$ , pertanto il limite di rivelazione della modalità di misura deve essere inferiore a tale livello di riferimento.

Si devono definire le modalità di esecuzione della misura nel laboratorio in oggetto per garantire la radioprotezione: tempo di misura del fondo e tempo di misura per ogni singolo punto di campionamento.

Nell'esempio presentato si utilizza un foglio di calcolo che impiega tutte le formule presentate nel paragrafo precedente e le applica per una misura di contaminazione superficiale alfa, riferendosi allo specifico radionuclide  $^{241}\text{Am}$ .

I campi bianchi con caratteri azzurri indicano i dati che devono essere inseriti nel file dall'utilizzatore.

I dati di impute per definire la campagna di misura sono:

#### Tipologia di contaminazione e caratteristiche dello strumento

Radionuclide	$\alpha$ -emettitore	L.R. ( $\text{Bq/cm}^2$ )		0,04
W( $\text{cm}^2$ )	$\varepsilon_i$	$\varepsilon_s$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon$ (cps/Bq)
166	0,31	0,25	1	0,0775
u(W) ( $\text{cm}^2$ )	u( $\varepsilon_i$ )	u( $\varepsilon_s$ )	u( $\varepsilon_d$ )	
1	0,02	0,03	0	
$u^2(W)/W^2$	$u^2(\varepsilon_i)/\varepsilon_i^2$	$u^2(\varepsilon_s)/\varepsilon_s^2$	$u^2(\varepsilon_d)/\varepsilon_d^2$	
3,6290E-05	0,003	0,010	0,000	

#### Misura di Fondo (su superficie sicuramente non contaminata)

$t_B$ (s)	B(cps)	$N_B$ (conteggi)	u(B) (cps)	u(B)/B (%)
300	0,23	69	0,028	0,0004

#### Tempo di integrazione delle singole misure

$t_R$ (s)
60

Si verifica la bontà del metodo di misura:

Soglia di decisione (Bq/cm <sup>2</sup> )	
$\tilde{u}(0)$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	0,0053
<b>A<sub>s</sub><sup>*</sup> (Bq/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>0,0087</b>

Limite di rivelazione (Bq/cm <sup>2</sup> )	
ipot. Iniz A <sub>s</sub> <sup>#</sup>	0,0173
1° iterazione	0,0208
2° iterazione	0,0215
3° iterazione	0,0217
4° iterazione	0,0217
5° iterazione	0,0217
<b>A<sub>s</sub><sup>#</sup> (Bq/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>0,022</b>

Verifica della bontà del metodo

**OK**

Dai valori ottenuti per A<sub>s</sub><sup>#</sup> si deduce che il processo iterativo può fermarsi a 3 iterazioni (le variazioni successive sono trascurabili ai fini del calcolo).

Con i parametri scelti che hanno garantito il rispetto del livello di riferimento di 0,04Bq/cm<sup>2</sup>, si sono eseguite 10 misure in 10 punti di campionamento prescelti.

I dati acquisiti sono stati elaborati:

#### Elaborazione dei dati

Punti di misura	R(cps)		As(Bq/cm <sup>2</sup> )	u(As)(Bq/cm <sup>2</sup> )
P1	0,20	-0,00241	<b>N.D.</b>	-
P2	0,22	-0,00117	<b>N.D.</b>	-
P3	0,29	0,00466	<b>&lt;As#</b>	-
P4	0,32	0,00700	<b>&lt;As#</b>	-
P5	0,34	0,00855	<b>&lt;As#</b>	-
P6	0,30	0,00544	<b>&lt;As#</b>	-
P7	0,27	0,00311	<b>&lt;As#</b>	-
P8	0,25	0,00155	<b>&lt;As#</b>	-
P9	0,36	0,01010	<b>0,010</b>	<b>0,003</b>
P10	0,27	0,00311	<b>&lt;As#</b>	-

Segue la valutazione dell'intervallo di confidenza e della miglior stima dei misurandi:

Punti di misura	As/Us	$\gamma$	$\omega$	p	q	$k_p$	$k_q$	Intervallo di confidenza		Migliore stima del misurando	
								$A_s^<$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	$A_s^>$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	$A_s^{\wedge}$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	$u(A_s^{\wedge})$ (Bq/cm <sup>2</sup> )
P1	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	N.D.	-
P2	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	N.D.	-
P3	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	<As#	-
P4	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	<As#	-
P5	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	<As#	-
P6	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	<As#	-
P7	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	<As#	-
P8	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	<As#	-
P9	3,89	0,05	1,00	0,97	0,98	1,96	1,96	0,005	0,02	0,010	0,003
P10	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	<As#	-

In conclusione si ottengono i risultati da riportare nel Rapporto di Misura, come indicato nell'Allegato 6:

<b>Radionuclide</b> alfa-emettitore								
<b>Misura di Fondo (su superficie sicuramente non contaminata)</b>								
$t_B$ (s)	B(cps)      u(B) (cps)							
300	0,23      0,03							
<b>Soglia di decisione</b>								
$\alpha= 0,05$	$k_{1-\alpha}= 1,645$							
$A_s^* \text{ (Bq/cm}^2\text{)}= 0,009$								
<b>Limite di rivelazione</b>								
$\beta= 0,05$	$k_{1-\beta}= 1,645$							
$A_s^{\#} \text{ (Bq/cm}^2\text{)}= 0,022$								
<b>Livello di riferimento</b>	L.R.(Bq/cm <sup>2</sup> )= 0,04      Verifica del metodo= OK							
Punti di misura	$t_R$ (s)	R(cps)	$A_s^<$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	$A_s^>$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	$A_s^{\wedge}$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	$u(A_s^{\wedge})$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	Verifica valore medio	Verifica valore massimo
P1	60	0,20	-	-	N.D.	-	-	-
P2	60	0,22	-	-	N.D.	-	-	-
P3	60	0,29	-	-	<As#	-	-	-
P4	60	0,32	-	-	<As#	-	-	-
P5	60	0,34	-	-	<As#	-	-	-
P6	60	0,30	-	-	<As#	-	-	-
P7	60	0,27	-	-	<As#	-	-	-
P8	60	0,25	-	-	<As#	-	-	-
P9	60	0,36	0,005	0,015	0,010	0,003	$A_s^{\wedge} < \text{L.R.}$	$A_s^{\wedge} + u(A_s^{\wedge}) < \text{L.R.}$
P10	60	0,27	-	-	<As#	-	-	-