

		
	<b>AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE</b>	
	<i>Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare</i> Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti	

# *Programma nazionale per l'affidabilità delle misure di radiazioni ionizzanti basato su Confronti InterLaboratorio (ILC) Protocollo sperimentale*

*Autori: Pierino De Felice, Marco Capogni, Mauro Capone, Pierluigi Carconi, Francesco Cardellini, Maria Pimpinella, Massimo Pinto.*

*Revisori<sup>1</sup>: Cinzia De Angelis, Elena Fantuzzi, Sonia Fontani, Daniela La Marra, Mauro Magnoni, Francesco Mancini, Maria Gabriella Pugliese, Serenella Russo, Rosabianca Trevisi.*

*ENEA – Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti  
C.R. Casaccia, Roma  
Roma, Luglio 2021*



Iniziativa finanziata dal MiSE, con fondo derivante dalle sanzioni amministrative irrogate dall'Autorità garante della concorrenza e del mercato da destinare ad iniziative a vantaggio dei consumatori, ai sensi dell'art. 148, legge 388/2000 - Anno di riparto 2019.



<sup>1</sup> Membri del Comitato Scientifico del Programma

# SOMMARIO

INMRI <i>Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti</i>		Tipologia: DC.GEN DOCUMENTO TECNICO GENERALE	
Identificazione: MiSE-ILC_Prot_v1.1		Data: Luglio 2021	Pag. 2 di 31

1	DEFINIZIONI.....	5
2	RIASSUNTO .....	5
2.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	6
2.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	6
2.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	7
2.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	7
2.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	8
2.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	8
3	INTRODUZIONE.....	9
3.1	Il Programma.....	9
3.2	Informazioni di partecipazione. ....	9
3.3	Comitato Scientifico .....	10
3.4	Contatti.....	10
3.5	Patrocini .....	11
3.6	Introduzione agli ILC.....	11
3.6.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	11
3.6.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	11
3.6.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	12
3.6.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	12
3.6.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	13
3.6.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	13
4	OGGETTO DEGLI ILC .....	13
4.1	Misurando .....	13
4.1.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	13
4.1.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	14
4.1.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	14
4.1.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	15
4.1.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	16
4.1.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	16
4.2	Metodo di misura e attrezzature.....	17
4.2.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	17
4.2.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	17
4.2.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	18

4.2.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	18
4.2.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	19
4.2.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	19
4.3	Valori di riferimento ed incertezze .....	20
4.3.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	20
4.3.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	20
4.3.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	20
4.3.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	21
4.3.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	21
4.3.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	21
5	SVOLGIMENTO DEGLI ILC .....	22
5.1	Iscrizione e prenotazione .....	22
5.1.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	22
5.1.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	22
5.1.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	22
5.1.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	23
5.1.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	23
5.1.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	23
5.2	Spedizione/Ricevimento di Materiali/Strumenti di Riferimento .....	23
5.2.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	24
5.2.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	24
5.2.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	24
5.2.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	24
5.2.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	24
5.2.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	25
5.3	Utilizzazione/Manipolazione dei Materiali/Strumenti di Riferimento .....	25
5.3.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	25
5.3.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	25
5.3.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	26
5.3.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	26
5.3.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	26
5.3.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	26
5.4	Misurazioni .....	27
5.4.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	27
5.4.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	27
5.4.3	ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria.....	27
5.4.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua.....	27
5.4.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	28
5.4.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	28

5.5	Invio risultati .....	28
5.5.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	28
5.5.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	28
5.5.3	ILC 3 Concentrazione di Rn-222 in aria .....	29
5.5.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua .....	29
5.5.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	29
5.5.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	29
6	ANALISI E PRESENTAZIONE DEI RISULTATI.....	29
6.1	Analisi dati .....	29
6.1.1	ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa .....	29
6.1.2	ILC 2 Attività di radiofarmaci .....	29
6.1.3	ILC 3 Concentrazione di Rn-222 in aria .....	29
6.1.4	ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua .....	30
6.1.5	ILC 5 Equivalente di dose personale .....	30
6.1.6	ILC 6 Contaminazione superficiale .....	30
6.2	Presentazione risultati .....	30
7	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	30

## 1 DEFINIZIONI

I sei Confronti Interlaboratorio (ILC) organizzati nell'ambito del Programma Nazionale sull'affidabilità delle misure di radiazioni ionizzanti coinvolgono diversi Enti ed Istituti sul territorio nazionale. In questo documento saranno utilizzate le seguenti definizioni, tratte dalla normativa di riferimento, norma ISO 17043:2010 in materia di confronti interlaboratorio [UNI 2010, ISO 2010]:

<i>INMRI</i>	Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA, i cui laboratori sono ubicati presso il Centro Ricerche Casaccia, via Anguillarese 301, Santa Maria di Galeria (RM). INMRI fornisce i valori di riferimento per i confronti.
<i>Partecipante</i>	Laboratorio che partecipa al programma in uno o più degli ILC previsti.
<i>Confronto Interlaboratorio (ILC)</i>	Organizzazione, esecuzione e valutazione di misurazioni o prove sugli stessi oggetti o su oggetti simili, da parte di due o più laboratori in conformità a condizioni prestabilite [UNI 2010, ISO 2010].
<i>Referente Tecnico dell'INMRI</i>	Punto di contatto INMRI per aspetti tecnici legati ad uno specifico ILC (vedi elenco contatti in volantino) e per invio della Scheda Risultati. Il <i>Referente Tecnico</i> dell'INMRI è tenuto alla clausola di riservatezza.
<i>Punto di Contatto Generale del Partecipante</i>	Punto di contatto del <i>Partecipante</i> per aspetti legati alle fasi di Iscrizione e Prenotazione al Programma
<i>Referente Tecnico del Partecipante</i>	Punto di contatto del <i>Partecipante</i> per aspetti tecnici legati ad uno specifico ILC e per invio della documentazione tecnica.
<i>Referente Spedizioni dell'INMRI</i>	Punto di contatto dell'INMRI per aspetti legati alle spedizioni di materiali e strumenti.
<i>Referente Spedizioni del Partecipante</i>	Punto di contatto del <i>Partecipante</i> per aspetti legati al ricevimento e spedizioni di materiali e strumenti.
<i>Nota Informativa</i>	Documento descrittivo delle operazioni da svolgere per il corretto uso di materiali/strumenti e compilazione della Scheda Risultati necessari allo svolgimento dell'ILC.
<i>Scheda Risultati</i>	File Excel da compilare dal <i>Partecipante</i> con i risultati delle misure effettuate e da rinviare all'INMRI.
<i>Scheda Partecipante</i>	Documento utilizzato per comunicare al <i>Partecipante</i> il proprio Codice Riservato.
<i>Numero d'Iscrizione</i>	Numero progressivo per ciascun <i>Partecipante</i> che si iscrive al programma, indipendentemente dal numero di ILC a cui partecipa.
<i>Codice Riservato</i>	Codice che identifica in modo anonimo il <i>Partecipante</i> nelle fasi di presentazione dei risultati e indipendentemente dal numero di ILC a cui partecipa.
<i>Dichiarazione di Presa in Carico</i>	Dichiarazione del <i>Partecipante</i> di corretta presa in carico o smaltimento dei Materiali di Riferimento Certificati trattenuti.

## 2 RIASSUNTO

Ciascun ILC verterà su una diversa tipologia di misura e sarà condotto mediante uno specifico **Protocollo** descritto nel presente documento. L'elenco degli ILC proposti e delle corrispondenti tematiche sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 – Tematiche generali degli ILC proposti.

<b>ILC N.</b>	<b>Tematica generale</b>
1	Attività di radionuclidi (gamma-emettitori + Sr-90) in una soluzione liquida acquosa
2	Attività di radiofarmaci (Tc-99m, F-18, Lu-177)

3	Concentrazione di attività del Rn-222 in aria
4	Dose assorbita in acqua in fasci di fotoni per radioterapia con campi piccoli
5	Equivalente di dose personale, $H_p(10)$ , con dosimetri di tipo passivo (Cs-137, raggi x di medie energie)
6	Contaminazione superficiale (Am-241, Sr-90) con sorgenti piane ed estese (SPE)

I risultati di tutti gli ILC saranno presentati in forma anonima.

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

## 2.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

L'ILC N. 1 è rivolto a misurazioni di concentrazione di attività di radionuclidi di interesse prevalentemente (ma non solo) ambientale mediante spettrometria gamma (individuazione e quantificazione dei radionuclidi gamma-emettitori presenti) e metodi radiochimici (quantificazione dello Sr-90). I livelli di concentrazione di attività rientrano nel campo di applicazione delle tecniche di monitoraggio ambientale.

I misurandi oggetto dell'ILC sono le concentrazioni di attività dei radionuclidi gamma-emettitori e dello Sr-90 presenti in un Materiale di Riferimento Certificato (MRC) costituito da una soluzione liquida acquosa tracciata con radionuclidi gamma-emettitori e con Sr-90.

Il MRC verrà prodotto dall'INMRI in uno o più cicli di produzione, garantendo l'equivalenza dei diversi lotti. La composizione chimica del MRC è nota ai *Partecipanti* (omettendo dati che possano indicare la presenza di particolari radionuclidi).

Il *Partecipante* dovrà identificare i radionuclidi gamma-emettitori presenti nel MRC e determinare i valori dei misurandi mediante una o più misurazioni, riportando i risultati ottenuti in una Scheda Risultati che sarà fornita dall'INMRI. La Scheda Risultati compilata dovrà essere inviata all'INMRI.

Metodi di misura e relativi dettagli sperimentali (volume di soluzione utilizzata, geometria di misura, metodo radiochimico utilizzato per lo Sr-90, ecc.) sono a discrezione del *Partecipante*.

L'analisi dei risultati sarà basata sul confronto dei valori dei misurandi forniti da ciascun *Partecipante* con i valori di riferimento degli stessi misurandi forniti dall'INMRI. Gli scarti ottenuti saranno analizzati con riferimento alle incertezze riportate dal *Partecipante* e quelle dichiarate dall'INMRI.

## 2.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

L'ILC N. 2 è rivolto a misurazioni di attività di radionuclidi di interesse della medicina nucleare mediante attivimetri [ISO, 2020a]. I livelli di attività rientrano nel campo di applicazione delle tecniche usate da laboratori di medicina nucleare e da centri di produzione di radiofarmaci.

I misurandi oggetto dell'ILC sono le attività dei radionuclidi  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{18}\text{F}$  e  $^{177}\text{Lu}$  in tre distinte sorgenti preparate dal *Partecipante* in soluzioni liquide acquose. Non è richiesto partecipare con la totalità dei radionuclidi proposti.

In particolare, per lo svolgimento dell'ILC ai *Partecipanti* sarà chiesto di preparare tre diverse sorgenti, in fiale di vetro in geometria definita (P6) fornite dall'INMRI - con soluzione radioattiva a volume di 4 cm<sup>3</sup> e a valori prestabiliti di attività pari a 50 MBq determinato in base a misurazioni effettuate mediante l'attivimetro in dotazione al *Partecipante*. Le sorgenti così preparate dovranno essere inserite in un attivimetro portatile fornito dall'INMRI (non tarato) di cui andranno registrate e riportate le letture. Per ognuna delle condizioni sperimentali, l'INMRI, mediante il segnale fornito dall'attivimetro, determinerà il valore di attività effettivamente introdotta nelle fiale e lo confronterà con il valore inizialmente richiesto (valore nominale).

Il *Partecipante* dovrà determinare i valori dei misurandi mediante una o più misurazioni, nell'intorno del valore nominale di attività richiesto, riportando i risultati ottenuti in una Scheda Risultati che sarà

fornita dall'INMRI. La Scheda Risultati compilata dovrà essere inviata all'INMRI.

I dettagli sperimentali nella preparazione delle sorgenti da misurare per l'esecuzione dell'ILC sono a discrezione del *Partecipante*.

L'analisi dei risultati sarà basata sul confronto dei valori dei misurandi forniti da ciascun *Partecipante* con i valori di riferimento degli stessi misurandi forniti dall'INMRI. Gli scarti ottenuti saranno analizzati con riferimento alle incertezze riportate dal *Partecipante* e quelle dichiarate dall'INMRI.

### 2.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

L'ILC N. 3 è rivolto a misurazioni di concentrazione di attività di radon (Rn-222) in aria di interesse prevalentemente (ma non solo) ambientale mediante monitori elettronici di radon in aria che possono memorizzare le concentrazioni medie di radon ad intervalli di tempo regolari (ora o frazione di ora). I livelli di concentrazione di attività rientrano nel campo di applicazione delle tecniche di monitoraggio ambientale.

Il misurando oggetto dell'ILC è la concentrazione di attività di radon (Rn-222) in aria.

In particolare, per lo svolgimento dell'ILC ai *Partecipanti* sarà richiesto di comunicare in anticipo il modello dello strumento con cui intendono partecipare all'ILC.

Gli strumenti inviati dai *Partecipanti* saranno sottoposti, per un determinato intervallo temporale, a definite condizioni di esposizione al gas radon. Le condizioni di esposizione saranno realizzate nell'impianto campione "camera radon praticabile" dell'INMRI. Le esposizioni al radon avranno una durata indicativa di tre settimane.

In funzione del numero di adesioni raccolte, le esposizioni potrebbero essere realizzate dall'INMRI in più cicli, garantendo l'equivalenza dei diversi cicli.

Per assicurare la riferibilità nelle misure effettuate, l'INMRI disporrà gli strumenti in esame su opportuni tavoli da laboratorio provvedendo a registrare con cura la posizione di ogni monitore, anche con l'aiuto di opportuna documentazione fotografica. Sui tavoli sarà anche disposto un adeguato numero di strumenti di riferimento preventivamente tarati dall'INMRI per la concentrazione di attività di radon.

Gli strumenti esposti saranno quindi rinviati a ciascun *Partecipante* che scaricherà i dati registrati e ne effettuerà l'analisi. Per ognuna delle condizioni sperimentali, il *Partecipante* fornirà all'INMRI i valori di concentrazione di attività misurati su tutto l'intervallo temporale di esposizione e su tre definiti sotto-intervalli.

L'analisi dei risultati sarà basata sul confronto dei valori dei misurandi forniti da ciascun *Partecipante* con i valori di riferimento degli stessi misurandi forniti dall'INMRI. Gli scarti ottenuti saranno analizzati con riferimento alle incertezze riportate dal *Partecipante* e quelle dichiarate dall'INMRI.

### 2.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

L'ILC N. 4 riguarda la dosimetria in radioterapia con fasci di fotoni prodotti da acceleratori clinici. I *Partecipanti* saranno centri di radioterapia che operano sul territorio nazionale e che dispongono di fasci di fotoni di alta energia utilizzati per il trattamento dei pazienti.

Il misurando oggetto dell'ILC è la dose assorbita in acqua in fasci di fotoni di 6 MV con dimensioni del campo nell'intervallo da 12 cm a 2 cm.

Per lo svolgimento dell'ILC ai *Partecipanti* sarà chiesto di irraggiare a valori prestabiliti di dose assorbita in acqua, in un set di 5 diverse condizioni sperimentali, un rivelatore fornito dall'INMRI. Per ognuna delle condizioni sperimentali, il *Partecipante* attraverso la Scheda Risultati comunicherà la dose erogata e l'INMRI, mediante il segnale fornito dal rivelatore, determinerà il valore della dose effettivamente somministrata.

L'analisi dei risultati sarà basata sul confronto dei valori dei misurandi forniti da ciascun *Partecipante*

(dose erogata) con i valori di riferimento degli stessi misurandi forniti dall'INMRI (dose effettivamente somministrata). Gli scarti ottenuti saranno analizzati con riferimento alle incertezze riportate dal *Partecipante* e quelle dichiarate dall'INMRI.

## 2.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

L'ILC N. 5 è rivolto alla misura di equivalente di dose personale,  $H_p(10)$ , mediante dosimetri di tipo passivo forniti dai *Partecipanti*. I valori di equivalente di dose personale saranno compresi tra quelli tipicamente d'interesse nei laboratori di misura di dosimetria personale, ovvero tra 400  $\mu$  Sv e 50 mSv.

I misurandi oggetto dell'ILC sono gli equivalenti di dose personale,  $H_p(10)$ , in fasci di raggi gamma emessi da  $^{137}\text{Cs}$  [ISO, 2019] ed in fasci di raggi x di medie energie realizzati ad una qualità della serie a spettro ampio, secondo normativa [ISO, 1996].

Per ciascun misurando, il *Partecipante* dovrà effettuare una lettura di  $H_p(10)$  per ciascun dosimetro restituito dall'INMRI dopo irraggiamento. Le letture dei misurandi saranno comunicate dal *Partecipante* attraverso la Scheda Risultati che sarà fornita dall'INMRI e che il *Partecipante* dovrà restituire compilata.

Le procedure di misura relative all'equivalente di dose personale sono a discrezione del *Partecipante*. L'analisi dei risultati sarà basata sul confronto dei valori dei misurandi forniti da ciascun *Partecipante* con i valori di riferimento degli stessi misurandi forniti dall'INMRI. Gli scarti ottenuti saranno analizzati con riferimento alle incertezze riportate dal *Partecipante* e quelle dichiarate dall'INMRI.

## 2.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

L'ILC N. 6 è rivolto a misurazioni di rateo di emissione superficiale da sorgenti piane estese (SPE) mediante opportuni rivelatori, altresì detti contaminometri. I laboratori interessati sono i centri che svolgono monitoraggio della contaminazione superficiale in applicazioni ambientali, industriali, nucleari e mediche.

Il livello di rateo di emissione scelto rientra nel campo di applicazione delle tecniche di monitoraggio ambientale.

I misurandi oggetto dell'ILC sono i ratei di emissione superficiale da SPE, nell'angolo solido di  $2\pi$  sr, di radiazione alfa e beta da un emettitore alfa,  $^{241}\text{Am}$ , e da un emettitore beta-puro,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ , secondo normativa ISO 8769 [ISO, 2020] e ISO 7503 [ISO, 2016a; ISO, 2016b].

In particolare, per lo svolgimento dell'ILC ai *Partecipanti* sarà chiesto di misurare il rateo di emissione superficiale ( $\text{s}^{-1}$ ) di due sorgenti (SPE) di dimensioni (10 cm x 15 cm). Per le procedure di misura e le caratteristiche tecniche delle sorgenti si farà riferimento alla norma ISO 8769 [ISO, 2020] e ISO 7503 [ISO, 2016a; ISO, 2016b].

Il *Partecipante* dovrà determinare i valori dei misurandi mediante una o più misurazioni delle due sorgenti di cui sopra, con strumentazione idonea alla misura in suo possesso, riportando i risultati ottenuti in una Scheda Risultati che sarà fornita dall'INMRI. La Scheda Risultati compilata dovrà essere inviata all'INMRI.

I dettagli sperimentali nella esecuzione delle misure specifiche per l'ILC sono a discrezione del *Partecipante*.

L'analisi dei risultati sarà basata sul confronto dei valori dei misurandi forniti da ciascun *Partecipante* con i valori di riferimento degli stessi misurandi forniti dall'INMRI. Gli scarti ottenuti saranno analizzati con riferimento alle incertezze riportate dal *Partecipante* e quelle dichiarate dall'INMRI.

### 3 INTRODUZIONE

#### 3.1 Il Programma

L'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA (INMRI-ENEA, Istituto Metrologico Nazionale in virtù della Legge 273/91) ha organizzato un Programma nazionale per la promozione dell'affidabilità delle misure di radiazioni ionizzanti basato su Confronti InterLaboratorio (ILC).

Il Programma è finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) Direzione generale per il mercato, la concorrenza, la tutela del consumatore e la normativa tecnica (DGMCTCNT) nell'ambito delle iniziative e studi in materia di controlli sugli strumenti di misura, in contesti di particolare rilevanza per i consumatori con risvolti per la salute e la sicurezza.

L'obiettivo del Programma è la tutela del cittadino/consumatore in ogni ambito in cui siano presenti radiazioni ionizzanti, ovvero i pazienti ed i loro familiari, nelle applicazioni mediche, così come qualunque cittadino che viva ed operi in ambienti sottoposti a sorveglianza, o che si nutra di prodotti controllati. Tale tutela sarà garantita dalla promozione dell'affidabilità delle misure.

La misurazione delle radiazioni ionizzanti trova ampio impiego nei settori ambientale, medico (radiodiagnostica, medicina nucleare e radioterapia), industriale (nucleare) e della ricerca scientifica, sia per esigenze di radioprotezione sia per ottimizzazione dell'efficacia dell'impiego stesso delle radiazioni. Misurazioni affidabili, effettuate con strumentazione e metodi adeguati, rappresentano un elemento imprescindibile per un'ottimale protezione ed utilizzazione.

Tale affidabilità è valutata e promossa mediante Confronti InterLaboratorio (ILC) estesi al maggior numero di *Partecipanti* che potrà esser raggiunto nell'ambito del programma, su diverse tematiche. Gli ILC sono orientati ad aspetti metrologici di base, con elevata ricaduta sul cittadino/consumatore.

I *Partecipanti* al Programma possono essere soggetti pubblici e privati operanti sul territorio nazionale e che effettuino, a vario titolo, misurazioni di radiazioni ionizzanti. Mediante gli ILC proposti essi potranno confermare la validità delle loro misure o individuare e correggere eventuali criticità.

La partecipazione al Programma è gratuita, ma esigenze di natura temporale e organizzativa imporranno limitazioni al numero di adesioni che potranno essere accettate. Le iscrizioni ricevute saranno valutate in ordine esclusivamente cronologico.

Per ciascuna tipologia di ILC previsto, i *Partecipanti* avranno modo di confrontare i risultati delle loro misurazioni con i valori di riferimento forniti dall'INMRI-ENEA. Tutti i risultati saranno trattati e presentati in forma anonima (mediante codici riservati) e sarà garantita la massima riservatezza. A tal fine il personale dell'INMRI che sarà coinvolto nel Programma sottoscriverà una Dichiarazione di riservatezza, specifica per i dati pertinenti al Programma, e aggiuntiva a quella già sottoscritta dal personale stesso per le attività istituzionali e di servizio dell'INMRI.

Non si prevede l'emissione di Certificazione bensì di Rapporti tecnici di consuntivo.

#### 3.2 Informazioni di partecipazione.

Ciascun ILC verterà su una diversa tipologia di misura e sarà condotto mediante uno specifico protocollo sperimentale.

I protocolli prevedono la distribuzione/circolazione di Materiali o Strumenti di Riferimento, secondo i casi.

Per ciascun ILC verrà pubblicato un calendario con le date proposte per lo svolgimento delle misure. Le date offerte potranno essere accettate anche da più di un singolo *Partecipante*.

I *Partecipanti* potranno iscriversi al Programma compilando un modulo online che sarà annunciato a breve. Successivamente essi potranno selezionare gli ILC d'interesse e prenotare la loro

partecipazione scegliendo la data più consona tra quelle offerte e ancora libere. Ad esaurimento delle disponibilità offerte verrà costituita una lista di riserva da considerare per un eventuale rinnovo o estensione del programma.

Le spese di spedizione dei Materiali o Strumenti di Riferimento, da e verso i *Partecipanti* saranno a carico di INMRI-ENEA.

I protocolli saranno supportati da Note Informative, con indicazioni sullo svolgimento dell'ILC e sull'invio dei risultati, e da Schede Risultati, da compilare a cura del *Partecipante* ed inviare per posta elettronica all'INMRI-ENEA.

Ulteriori informazioni riguardanti i protocolli degli ILC, le iscrizioni, il calendario delle prove, e tutta la documentazione sono disponibili sul sito:

<https://www.inmri.enea.it/attivita-di-ricerca/confronti-interlaboratorio>

### 3.3 Comitato Scientifico

Il Programma si avvale del contributo altamente qualificato di un Comitato Scientifico che riflette le competenze nei diversi settori specialistici previsti.

La composizione del Comitato Scientifico è la seguente.

<b>Nominativo</b>	<b>Affiliazione</b>
La Marra Daniela	MiSE
De Felice Pierino	INMRI-ENEA
De Angelis Cinzia	ISS
Fantuzzi Elena	ENEA
Fontani Sonia	ISIN
Magnoni Mauro	ARPA Piemonte
Mancini Francesco	SOGIN
Pugliese Mariagabriella	Università degli Studi di Napoli Federico II
Russo Serenella	AUSL Toscana Centro
Trevisi Rosabianca	INAIL

### 3.4 Contatti

#### **Organizzatore:**

ENEA - Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare  
Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti  
C.R. Casaccia, Via Anguillarese, 301  
S.M. Galleria I-00123 Roma - ITALY  
e-mail: [inmri@enea.it](mailto:inmri@enea.it)

#### **Segreteria scientifica:** Pinto Massimo, INMRI-ENEA

Eventuali richieste di chiarimento possono essere indirizzate a:

P. De Felice, [pierino.defelice@enea.it](mailto:pierino.defelice@enea.it)

M. Pinto, [massimo.pinto@enea.it](mailto:massimo.pinto@enea.it)

#### **Referente INMRI per le spedizioni:**

C. Caporali, [claudio.caporali@enea.it](mailto:claudio.caporali@enea.it)

Per aspetti specifici di ciascun ILC, rivolgersi a:

<b>ILC N.</b>	<b>Referente Tecnico dell'INMRI</b>
1	M. Capone, <a href="mailto:mauro.capone@enea.it">mauro.capone@enea.it</a>
2	M. Capogni, <a href="mailto:marco.capogni@enea.it">marco.capogni@enea.it</a>
3	F. Cardellini, <a href="mailto:francesco.cardellini@enea.it">francesco.cardellini@enea.it</a>

4	M. Pimpinella, <a href="mailto:maria.pimpinella@enea.it">maria.pimpinella@enea.it</a>
5	M. Pinto, <a href="mailto:massimo.pinto@enea.it">massimo.pinto@enea.it</a>
6	P. Carconi, <a href="mailto:pierluigi.carconi@enea.it">pierluigi.carconi@enea.it</a>

### 3.5 Patrocini

L'elenco degli Enti e le Associazioni patrocinate è aggiornato sulla pagina web dedicata al programma:

<https://www.inmri.enea.it/attivita-di-ricerca/confronti-interlaboratorio>

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

### 3.6 Introduzione agli ILC

I paragrafi seguenti riportano introduzioni specifiche agli ILC organizzati sottolineandone l'importanza in ciascun specifico settore.

#### 3.6.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

La capacità di misura della concentrazione di attività di radionuclidi in matrici liquide acquose è un'esigenza particolarmente sentita nel Paese, considerate le numerose applicazioni nel campo della sorveglianza ambientale, delle applicazioni mediche, industriali, nucleari e della ricerca scientifica.

Nel corso degli anni l'INMRI ha organizzato, in collaborazione con le Istituzioni preposte alla sorveglianza della radioattività ambientale (ora ISIN, ex-ISPRA e, ancor prima, ex-APAT) numerose campagne di taratura e confronti interlaboratorio, coinvolgendo i laboratori afferenti alla REte di SORveglianza nazionale per il controllo sulla RADioattività ambientale (RESORAD) oltre a numerosi altri soggetti attivi in questo settore sul territorio nazionale (Università, Enti, Ospedali, Laboratori privati). Tali campagne hanno avuto l'obiettivo di garantire, per tutti i laboratori coinvolti, la riferibilità a livello nazionale ed internazionale ad un comune campione ("*standard*") di riferimento, sviluppato e mantenuto presso l'INMRI. Tali campagne, grazie anche alla loro periodicità, hanno consentito di realizzare, per i laboratori interessati, i presupposti tecnico-scientifici per raggiungere adeguati livelli di accuratezza e di affidabilità.

Per quanto detto, l'ILC N. 1 è rivolto prevalentemente (ma non solo) a misurazioni di concentrazione di attività di radionuclidi di interesse ambientale mediante spettrometria gamma (individuazione e quantificazione dei radionuclidi gamma-emettitori presenti) e metodi radiochimici (quantificazione dello Sr-90). Il livello di concentrazione di attività scelto rientra nel campo di applicazione delle tecniche di monitoraggio ambientale.

#### 3.6.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

La capacità di misura dell'attività di radionuclidi d'interesse della medicina nucleare, mediante attivimetri, è un'esigenza molto sentita nel Paese, considerati i numerosi centri di medicina nucleare che utilizzano radiofarmaci per diagnostica e terapia e le numerose applicazioni mediche di radiofarmaci.

La normativa di legge e tecnica vigente [GU, 2005] richiede che la strumentazione necessaria per determinare l'attività e la purezza radiochimica del radiofarmaco debba essere adeguatamente schermata dall'influenza della radiazione ambientale e opportunamente tarata. Inoltre si richiede che l'attività dei radiofarmaci sia nota con incertezza inferiore al 10%. Anche per i centri di produzione di radiofarmaci, presenti nel Paese, l'accuratezza della misura di attività è necessaria come richiesto dalla legislazione vigente.

Ad oggi l'INMRI ha soddisfatto numerose richieste di taratura di attivimetri, provenienti da singoli centri di produzione o da centri di medicina nucleare del Paese. Non è ancora stato svolto, tuttavia, un ILC a carattere nazionale in questo settore. Pertanto, tale ILC si rende necessario per garantire, per tutti i laboratori coinvolti, la riferibilità a livello nazionale ed internazionale ad un comune campione

("standard") di riferimento, per ciascun radionuclide oggetto dell'ILC, sviluppato e mantenuto presso l'INMRI. In tal modo si potranno realizzare, per i laboratori interessati, i presupposti tecnico-scientifici per raggiungere adeguati livelli di accuratezza e di affidabilità.

### 3.6.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

La capacità di misura della concentrazione di attività di radon in aria, in particolare del suo andamento temporale, è un'esigenza particolarmente sentita non solo nel Paese, ma nel mondo intero, considerata la diffusione di misure di radon in numerose applicazioni nel campo della sorveglianza ambientale, delle abitazioni e dei luoghi di lavoro, nonché nello studio dei processi di diffusione del radon negli edifici e la valutazione dell'efficacia delle opportune azioni di rimedio.

Nel corso degli anni l'INMRI ha svolto intensa attività di taratura di monitori di radon attivi e ha contribuito all'organizzazione e svolgimento di ILC organizzati a livello nazionale ed internazionale. Tali attività (di taratura e di ILC) hanno avuto l'obiettivo di garantire, per tutti i laboratori coinvolti, la riferibilità a livello nazionale ed internazionale ad un comune campione ("standard") di riferimento, sviluppato e mantenuto presso l'INMRI. Tali campagne, grazie anche alla loro periodicità, hanno consentito di realizzare, per i laboratori interessati, i presupposti tecnico-scientifici per raggiungere adeguati livelli di accuratezza e di affidabilità.

Ad oggi risultano svolti assai pochi ILC rivolti alla misura della concentrazione di radon nel tempo. Pertanto, un tale ILC si rende necessario potendo estendere anche a questo settore le verifiche di affidabilità su citate.

### 3.6.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

L'attuazione di programmi per l'assicurazione della qualità dei trattamenti radioterapici è un'esigenza fondamentale dei centri di radioterapia per garantire la sicurezza dei pazienti, anche in termini di adeguamento alla direttiva Europa 2013/59/Euratom [EURATOM, 2013] e alla normativa nazionale, D. Lgs. 101 del 31 Luglio 2020 [DLGS, 2020]. Nell'ambito della garanzia di qualità, lo svolgimento di confronti interlaboratorio su tematiche di misura riguardanti la dosimetria in radioterapia ha un ruolo determinante per la verifica della corretta implementazione dei protocolli dosimetrici nei singoli centri di radioterapia, per la validazione di tecniche e procedure operative adottate localmente e per la valutazione del grado di equivalenza delle misurazioni effettuate nei diversi centri sul territorio nazionale.

In Italia si contano due esperienze di confronti pilota nel settore della radioterapia, entrambe promosse dall'Istituto Superiore di Sanità. La prima è stata condotta nei primi anni del 2000, la seconda è in corso e riguarda un programma di audit clinici e dosimetrici applicati alle tecniche IMRT e VMAT. Entrambe le attività sono legate a progetti finanziati dal Ministero della Salute coinvolgendo un numero ristretto di centri. Queste esperienze evidenziano la difficoltà nel programmare a livello nazionale confronti periodici che estendano la partecipazione a tutti i centri italiani. Ancora su questo tema, nel 2018 è stata avviata una collaborazione scientifica tra l'INMRI e l'Associazione Italiana di Fisica Medica e Sanitaria (AIFM). Nell'ambito di tale collaborazione è stata offerta ai centri di radioterapia italiani la possibilità di eseguire confronti bilaterali, ovvero audit dosimetrici, nei quali l'INMRI verifichi e certifichi che il centro misuri correttamente la dose assorbita in uno specifico set-up sperimentale corrispondente alle condizioni di taratura dell'acceleratore clinico. Il consistente numero di richieste ricevute per questa tipologia di confronto ha confermato l'esigenza a livello nazionale di programmi continuativi di confronti dosimetrici nel settore medico della radioterapia.

In tale contesto, l'ILC N. 4, proposto nell'ambito della convenzione tra MiSE e INMRI, è finalizzato a verificare la corretta disseminazione in Italia della grandezza dose assorbita in acqua nel settore della radioterapia con fasci esterni di fotoni. Le condizioni di misura sono estese a quelle richieste per l'implementazione delle tecniche e modalità di radioterapia più avanzate. L'ILC permetterà di valutare la capacità di misura dei singoli centri di radioterapia e di stabilire il grado di uniformità dell'affidabilità delle misurazioni di dose assorbita a livello nazionale.

### 3.6.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

La misura di equivalente di dose personale  $H_p(10)$  costituisce parte fondamentale della radioprotezione per il monitoraggio dell'esposizione esterna del personale esposto alle radiazioni ionizzanti per motivi professionali, in ambito sanitario come in ambito nucleare, di gestione di rifiuti radioattivi, nel decommissioning di ex impianti nucleari e nelle attività di ricerca scientifica. Sebbene i *Partecipanti* a questo Programma Nazionale possono aver già partecipato ad altre campagne di confronto interlaboratorio, come per es. nell'ambito dei programmi di confronto offerti dalla rete EURADOS, il Programma Nazionale finanziato dal MiSE offre l'opportunità di prendere visione delle odierne capacità di misura di servizi dosimetrici distribuiti sul territorio nazionale. "Inoltre, attraverso le adesioni dei *Partecipanti*, sarà possibile effettuare una stima del numero dei servizi di dosimetria operanti sul territorio nazionale, che, come da recenti disposizioni (art. 127 D.Lgs. 101/2020) [DLGS, 2020], devono comunicare la loro attività ad ISIN".

### 3.6.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

La corretta misura del rateo di emissione superficiale di radiazioni alfa o beta è necessaria per la valutazione della contaminazione superficiale di materiali e oggetti in molteplici applicazioni nel campo della sorveglianza ambientale, delle applicazioni mediche, industriali, nucleari e della ricerca scientifica.

Ad oggi l'INMRI ha soddisfatto numerose richieste di taratura di contaminometri, provenienti da laboratori del Paese che utilizzano questi strumenti per varie necessità. Non è ancora stato svolto, tuttavia, un ILC a carattere nazionale in questo settore. Pertanto, tale ILC si rende necessario per garantire, per tutti i laboratori coinvolti, la riferibilità a livello nazionale ed internazionale ad un comune campione ("*standard*") di riferimento, sviluppato e mantenuto presso l'INMRI. In tal modo si potranno realizzare, per i laboratori interessati, i presupposti tecnico-scientifici per raggiungere adeguati livelli di accuratezza e di affidabilità in tale settore di misure.

Il livello di rateo di emissione scelto rientra nel campo di applicazione delle tecniche di monitoraggio ambientale.

## 4 OGGETTO DEGLI ILC

### 4.1 Misurando

È assunto che ciascun *Partecipante* iscritto al programma si sottoponga, per ciascuno degli ILC a cui avrà fatto richiesta di iscrizione, ad una sola prova per ciascuno dei misurandi offerti. In fase di Prenotazione di irraggiamenti, o di ricezione di materiali di proprietà INMRI, sarà obbligo del *Partecipante* dichiarare se uno o più misurandi fuoriesce dal proprio *campo di applicazione*, comunicando al responsabile INMRI di ciascuno ILC che intende rinunciare alla partecipazione ad una specifica misura.

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

#### 4.1.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

I misurandi oggetto dell'ILC sono le concentrazioni di attività di radionuclidi gamma-emettitori e dello Sr-90 presenti in un Materiale di Riferimento Certificato (MRC) costituito da una soluzione liquida acquosa tracciata con radionuclidi gamma-emettitori e con Sr-90. Per gamma-emettitori si considerano quelli con fotoni di energia compresa tra 40 keV e 2000 keV che il *Partecipante* dovrà individuare e misurarne la concentrazione di attività.

Il MRC verrà prodotto dall'INMRI in uno o più cicli di produzione, garantendo l'equivalenza dei diversi lotti. Le caratteristiche del MRC sono riportate in Tabella 2, dove è anche indicata la composizione chimica del MRC (omettendo dati che possano indicare la presenza di particolari radionuclidi).

Per l'esecuzione del confronto, l'INMRI fornirà a ciascun *Partecipante* un campione di MRC del volume pari a 1 L.

Tabella 2 – Caratteristiche del MRC utilizzato nell'ILC N. 1.

Tipo di MRC	soluzione liquida acquosa
Matrice e radionuclidi	sorgente liquida in soluzione acquosa tracciata con una miscela di radionuclidi emettitori gamma (energia tra 40 keV e 2000 keV) e Sr-90
Volume totale	50 L
Densità	circa 1 g/cm <sup>3</sup>
Composizione chimica del MRC	soluzione acquosa in ambiente acido HCl 1÷4 M + 25 µg/g di alcuni elementi trascinanti inattivi ( <i>carrier</i> ) sotto forma di cloruri
Altri elementi presenti	tracce di elementi stabili usati come trascinanti ( <i>carrier</i> )
Misurando	concentrazione di attività di radionuclidi gamma-emettitori e dello Sr-90
Aliquota di MRC consegnata a ciascun <i>Partecipante</i>	1 L
Concentrazione di attività per radionuclide	nell'intervallo 0,2 – 2 Bq/L
Intervallo di energia considerato	40 keV – 2000 keV
Confezionamento	contenitore in PET con tappo a vite e doppia busta sigillata, in contenitore di cartone con assorbitore d'urto

#### 4.1.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

I misurandi oggetto dell'ILC sono le attività dei radionuclidi <sup>99m</sup>Tc, <sup>18</sup>F e <sup>177</sup>Lu in tre distinte sorgenti, in soluzione liquida acquosa, che il *Partecipante* dovrà preparare con attività pari a 50 MBq. Non è necessario partecipare con tutti radionuclidi previsti. Oggetto dell'ILC sarà quindi sia la capacità di misurare l'attività che quella di somministrare il valore di attività richiesta. Le condizioni sperimentali selezionate per l'ILC sono riportate in Tabella 3.

Tabella 3 – Condizioni sperimentali per la determinazione dei misurandi (ILC 2)

Radionuclide per diagnostica SPECT	<sup>99m</sup> Tc
Radionuclide per diagnostica PET	<sup>18</sup> F
Radionuclide teranostici	<sup>177</sup> Lu
Radiazioni emesse	γ, β
Attività da "somministrare" (valore nominale)	50 MBq
Fiala utilizzata	P6 - INMRI
Geometria fiala	cilindrica (h 54,0 x φ 21,7 mm)
Volume di soluzione	4 cm <sup>3</sup>
Strumenti utilizzati	Attivimetro portatile

#### 4.1.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

I misurandi oggetto dell'ILC sono le concentrazioni di attività di radon (Rn-222) in aria in tre diversi

intervalli temporali della durata indicativa di quattro giorni, all'interno di un unico ciclo di esposizione. Ulteriore misurando sarà il valore medio della concentrazione di radon nell'intero ciclo di esposizione.

L'ILC N. 3 è rivolto a misurazioni di concentrazione di attività di radon (Rn-222) in aria di interesse prevalentemente (ma non solo) ambientale mediante monitori elettronici di radon in aria che possono memorizzare le concentrazioni medie di radon ad intervalli di tempo regolari (ora o frazione di ora). I livelli di concentrazione di attività rientrano nel campo di applicazione delle tecniche di monitoraggio ambientale.

Gli strumenti inviati dai *Partecipanti* saranno sottoposti, per un determinato intervallo temporale, a definite condizioni di esposizione al gas radon naturalmente presente nell'impianto campione "camera radon praticabile" dell'INMRI. Le esposizioni al radon avranno una durata indicativa di tre settimane, anche in considerazione del fatto che gli strumenti più economici possono avere bisogno di almeno 24 ore di misura per fornire risultati attendibili. Durante l'esposizione tutti gli strumenti registreranno l'andamento temporale della concentrazione di attività di radon, preferibilmente con tempi di integrazione di un'ora.

In funzione del numero di adesioni raccolte, le esposizioni potrebbero essere realizzate dall'INMRI in più cicli, garantendo l'equivalenza dei diversi cicli.

Per assicurare la riferibilità nelle misure effettuate, l'INMRI disporrà gli strumenti in esame su opportuni tavoli da laboratorio provvedendo a registrare con cura la posizione di ogni monitore, anche con l'aiuto di opportuna documentazione fotografica. Sui tavoli sarà anche disposto un adeguato numero di strumenti di riferimento preventivamente tarati dall'INMRI per la grandezza di interesse dell'ILC.

Le condizioni sperimentali selezionate per l'ILC sono riportate in Tabella 4.

Tabella 4 – Condizioni sperimentali per la misura della concentrazione di radon in aria (ILC 3).

Sorgente di riferimento	radon naturale
Gas radioattivo	$^{222}\text{Rn}$ (radon)
Campo di radiazione	$\alpha, \beta, \gamma$
Ambiente di esposizione	Camera radon praticabile dell'INMRI
Condizioni ambientali	Temperatura: $15 \div 30$ °C Umidità: $30 \div 80$ % e Pressione atmosferica
Intervallo di concentrazione di attività	$400 \div 6000$ Bq/m <sup>3</sup>
Numero di intervalli temporali di esposizione	3
Durata di ciascun intervallo temporale di esposizione	4 giorni
Durata complessiva del ciclo di esposizione	3 settimane
Strumenti utilizzati dai <i>Partecipanti</i>	Monitori attivi di radon

#### 4.1.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Il misurando oggetto dell'ILC N.4 è la dose assorbita in acqua ( $D_w$ ), che rappresenta la grandezza dosimetrica di riferimento per i trattamenti di radioterapia con fasci di radiazione esterni. Come stabilito nei protocolli dosimetrici concordati a livello internazionale [IAEA, 2006; McEwen, 2014; IAEA, 2017] i fasci di radiazione per radioterapia devono essere caratterizzati in termini di  $D_w$  erogata in determinate condizioni di misura, specifiche per tipo di radiazione e tecnica o modalità di trattamento radioterapico.

L'ILC è focalizzato sulla verifica delle capacità di misura di  $D_w$  in un set di condizioni sperimentali, significative per valutare l'inclusione dei campi piccoli di fotoni nei sistemi di elaborazione dei piani di trattamento radioterapico dei pazienti. Le condizioni sperimentali selezionate per l'ILC sono

riportate in Tabella 5.

Tabella 5 – Condizioni sperimentali per la misura di  $D_w$  (ILC 4).

Fascio di radiazione	fotoni, 6 MV filtrato
Profondità in acqua del punto di misura	10 cm
Dimensioni minime del fantoccio di acqua	30 cm x 30 cm x 30 cm
Distanza dalla sorgente del punto di misura	100 cm (ovvero distanza dell'isocentro)
Dimensioni del campo di radiazione alla posizione del punto di misura	2 cm x 2 cm 3 cm x 3 cm 5 cm x 5 cm 2 cm x 12 cm 10 cm x 10 cm

Il campo 10 cm x 10 cm viene incluso nel set di condizioni sperimentali al fine di valutare la componente di variabilità dei risultati dell'ILC tra i diversi *Partecipanti* da attribuire a differenze nelle modalità di taratura degli acceleratori.

#### 4.1.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

La grandezza oggetto di misura per l'interconfronto è l'equivalente di dose personale,  $H_p(10, \alpha)$ , dove  $\alpha$  indica l'angolo di incidenza delle radiazioni sul dosimetro, ed i misurandi sono i seguenti tre:

1. un valore di  $H_p(10, \alpha = 0)$  in fasci di radiazioni gamma emesse da sorgenti di  $^{137}\text{Cs}$  secondo normativa ISO 4037:2019 [UNI EN, 2021-1, UNI EN, 2021-3];
2. un valore di  $H_p(10, \alpha = 0)$  in fasci di radiazioni x filtrate di medie energie della serie a spettro largo, secondo normativa ISO 4037:1996 [ISO, 1996];
3. un valore di  $H_p(10, \alpha \neq 0)$  in fasci di radiazioni x oppure gamma, di cui ai punti 1. e 2., con angolo di incidenza  $\alpha$  diverso da zero;

Gli irraggiamenti dei dosimetri di tipo passivo, che saranno forniti da ciascun *Partecipante*, saranno effettuati presso i laboratori INMRI su fantoccio standard ISO *Slab* nell'intervallo compreso tra 400  $\mu\text{Sv}$  e 50 mSv.

Salvo rinuncia alla partecipazione ad una specifica misura, delle tre indicate sopra, il numero totale dei dosimetri che il partecipante dovrà fornire è 11 (undici), come dettagliato nella seguente tabella:

Tabella 6: Dosimetri associati a ciascun misurando

Misurando	Numero di dosimetri (parziali)
$^{137}\text{Cs}, \alpha = 0$	uno irraggiato, uno di riserva (2)
raggi x medie energie, $\alpha = 0$	uno irraggiato, uno di riserva (2)
$^{137}\text{Cs}$ oppure raggi x medie energie, $\alpha \neq 0$	uno irraggiato, uno di riserva (2)
Fondo	(5)
<b>Totale</b>	<b>11</b>

#### 4.1.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

I misurandi oggetto dell'ILC sono i ratei di emissione superficiale da SPE, nell'angolo solido di  $2\pi\text{ sr}$ , di radiazione alfa e beta da un emettitore alfa,  $^{241}\text{Am}$ , e da un emettitore beta-puro,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ , secondo normativa ISO 8769 [ISO, 2020] e ISO 7503 [ISO, 2016a; ISO, 2016b].

Le SPE sono fornite dall'INMRI, le condizioni sperimentali selezionate per l'ILC sono riportate in Tabella 7.

Tabella 7 – Condizioni sperimentali per la determinazione del misurando (ILC 6)

Radionuclide alfa-emettitori	$^{241}\text{Am}$
Radionuclidi beta-emettitori	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$
Campo di radiazione	$\alpha, \beta^-$
Intervallo di misura del rateo di contaminazione superficiale	$0,5 \div 3 \cdot 10^3 \text{ (s}^{-1}\text{)}$
Tipo sorgente	piana estesa solida (SPE)
Geometria sorgente	10 cm x 15 cm
Strumenti utilizzati dai <i>Partecipanti</i>	contaminametri

## 4.2 Metodo di misura e attrezzature

Ciascun *Partecipante* dovrà seguire le proprie usuali procedure e set-up sperimentali, sia per la preparazione dei campioni e/o degli strumenti che per la loro manipolazione o posizionamento.

Tutte le misurazioni dovranno essere effettuate dal *Partecipante* utilizzando le proprie attrezzature sperimentali ed avvalendosi del personale a disposizione del proprio laboratorio.

Ogni *Partecipante* è tenuto a seguire scrupolosamente le istruzioni riportate nella Nota Informativa.

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

### 4.2.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

Metodi di misura e relativi dettagli sperimentali (volume di soluzione utilizzata, geometria di misura, metodo radiochimico utilizzato per lo Sr-90, ecc.) sono a discrezione del *Partecipante*.

Se il volume della sorgente o i livelli di concentrazione di attività fossero diversi da quelli usualmente utilizzati dal *Partecipante*, potrebbe essere necessario effettuare concentrazioni/diluizioni o apportare le dovute correzioni per differente geometria, riportandole, debitamente, nella Scheda Risultati. Le eventuali diluizioni, al massimo per un fattore 5x, possono essere effettuate direttamente con acqua ultra pura o bidistillata determinando accuratamente (per via gravimetrica) il fattore di diluizione applicato.

### 4.2.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

Per lo svolgimento dell'ILC ai *Partecipanti* sarà chiesto di preparare le diverse sorgenti con valore prestabilito di attività pari a 50 MBq determinato in base a misurazioni effettuate mediante l'attivimetro in dotazione al *Partecipante*.

Il *Partecipante* dovrà effettuare la lettura delle sorgenti preparate mediante un attivimetro portatile fornito dall'INMRI, nelle condizioni sperimentali specificate in Tabella 3 e registrare il valore ottenuto nella Scheda Risultati.

Si prevede che siano svolte le seguenti operazioni:

- ricezione da parte del *Partecipante* dell'attivimetro portatile fornito dall'INMRI;
- accensione, stabilizzazione dello strumento e determinazione del fondo strumentale, seguendo le indicazioni riportate nella Nota Informativa;
- preparazione delle sorgenti dei radionuclidi previsti e somministrazione di 4 cm<sup>3</sup> e attività 50 MBq (determinato in base all'attivimetro di proprietà del *Partecipante*) di ciascun radionuclide in tre diverse fiale (geometria P6) fornite da INMRI;
- acquisizione delle letture dello strumento portatile fornito dall'INMRI con le sorgenti preparate dal *Partecipante*.

Il *Partecipante* realizzerà autonomamente le condizioni di misura di Tabella 3 e utilizzerà le proprie attrezzature per stabilire l'attività di 50 MBq da somministrare.

È responsabilità del *Partecipante* verificare che tutta la strumentazione dell'INMRI abbia raggiunto le condizioni di stabilità prima di effettuare le misurazioni. Sarà cura del *Partecipante* evitare che nei pressi dell'attivimetro portatile fornito da INMRI e utilizzato per le misurazioni ci siano altri campi di radiazione.

#### 4.2.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

Per lo svolgimento dell'ILC ai *Partecipanti* sarà richiesto di comunicare in anticipo il modello dello strumento con cui intendono partecipare all'ILC, specificando anche se lo strumento debba essere collegato ad apposito alimentatore oppure possieda batterie che consentano autonomia di almeno 20 giorni. I *Partecipanti* possono partecipare con più di uno strumento e dovranno indicarne, se a loro nota, la sensibilità (es. in termini di conteggi/min per Bq/m<sup>3</sup>).

Per motivi organizzativi non si accettano monitori che richiedono l'uso di cartucce essiccanti.

Si raccomanda che il *Partecipante* fornisca all'INMRI delle semplici istruzioni sul modo di avviare le misure della propria strumentazione. Ove possibile i monitori radon vanno impostati con tempi di integrazione di un'ora.

Gli strumenti esposti saranno rinviati a ciascun *Partecipante* che scaricherà i dati registrati e ne effettuerà l'analisi. Per ognuna delle condizioni sperimentali, il *Partecipante* fornirà all'INMRI i valori di concentrazione di attività di radon misurati su tutto l'intervallo temporale di esposizione e sui tre intervalli temporali specificati come da Tabella 4.

Si prevede che siano svolte le seguenti operazioni:

- a) ricezione da parte dell'INMRI dei monitori radon inviati da ciascun *Partecipante*;
- b) prove di buon funzionamento dei monitori ricevuti presso l'INMRI;
- c) avvio del ciclo di esposizioni e acquisizione delle letture dei monitori dei *Partecipanti*;
- d) termine dell'esposizione e restituzione dei monitori ai *Partecipanti*;
- e) lettura dei dati registrati dai monitori a cura di ciascun *Partecipante*.

Il *Partecipante* autonomamente provvederà a scaricare i dati registrati dal/dagli strumento/i con cui ha partecipato all'ILC e ad elaborarli tenendo presente le condizioni di misura riportate in Tabella 4.

È responsabilità del *Partecipante* verificare che tutta la strumentazione da inviare all'INMRI sia in buono stato di funzionamento. È compito dell'INMRI assicurarsi, alla ricezione del/i monitore/i, che questi/i sia/siano integri.

L'INMRI informerà di eventuali mal funzionamenti riscontrati dei monitori dei *Partecipanti*.

L'INMRI si assicurerà anche che durante le misurazioni non ci siano altri campi di radiazione nei pressi dei monitori esposti.

#### 4.2.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Il *Partecipante* dovrà irraggiare nel proprio fascio di radiazione un rivelatore a stato solido, di tipo attivo, nelle condizioni sperimentali specificate in Tabella 5 e registrare nella Scheda Risultati il segnale prodotto dal rivelatore a seguito dell'irraggiamento. Il segnale prodotto dal rivelatore dovrà essere rilevato mediante un elettrometro di classe di riferimento fornito dall'INMRI unitamente al rivelatore e al cavo di collegamento.

Con riferimento alla Figura 1, si precisa che il rivelatore dovrà essere irraggiato in modalità assiale, con il proprio punto di riferimento posto alla profondità di misura. Un segno nero visibile sulla parete esterna del rivelatore indica la quota del punto di riferimento rispetto al top del rivelatore. Per il posizionamento in acqua si precisa che il rivelatore è impermeabile e può essere fissato ad un supporto nella parte "stelo" che ha diametro esterno di 7 mm.

È vietata la riproduzione, anche parziale, del documento senza l'autorizzazione dell'INMRI.

Per quanto riguarda le dimensioni del campo di radiazione, il *Partecipante*, compatibilmente con il sistema di collimazione di cui dispone, realizzerà le dimensioni più vicine possibile a quelle di Tabella 5 e riporterà nella Scheda Risultati le dimensioni effettivamente realizzate.

I valori di dose da somministrare,  $D_{ILC}$ , sono prestabiliti dall'INMRI, in termini di numero di unità monitor da erogare o in termini di valore di  $D_w$  erogata al punto di misura. Nello specifico:

- per il campo 10 cm x 10 cm, il *Partecipante* dovrà somministrare 400 unità monitor e riportare nella Scheda Risultati il valore di  $D_w$  erogata alla profondità di misura, valore determinato in base all'output di riferimento dell'acceleratore;
- per gli altri campi, il *Partecipante* somministrerà il numero di unità monitor calcolate dal TPS per erogare alla profondità di misura valori di  $D_w$  prestabiliti dall'INMRI e comunicati al *Partecipante* con la Nota Informativa.

In ogni diversa condizione di misura, l'irraggiamento dovrà essere ripetuto 5 volte. Il segnale prodotto dovrà essere rilevato e registrato per ogni irraggiamento effettuato.

È responsabilità del *Partecipante* verificare che tutta la strumentazione abbia raggiunto le condizioni di stabilità prima di effettuare gli irraggiamenti e le misurazioni.

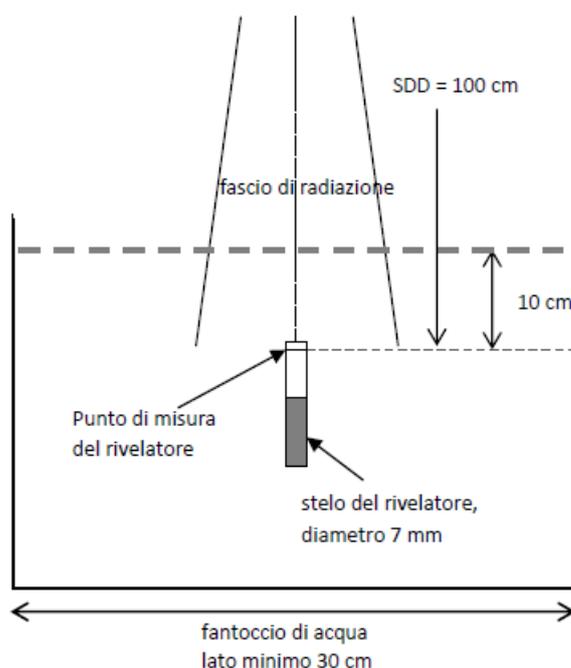


Figura 1 – Schema del set-up sperimentale per ILC4 (disegno non in scala).

#### 4.2.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

La lettura dell'equivalente di dose personale sarà effettuata secondo le procedure di misura normalmente eseguite presso il laboratorio del *Partecipante*, avendo debitamente tenuto in conto la lettura di fondo, per ciascun misurando, che sarà stata effettuata sui dosimetri che INMRI indicherà di *non* aver irraggiato.

Ogni dosimetro dovrà essere opportunamente codificato dal *Partecipante* prima dell'invio all'INMRI per l'irraggiamento, come descritto in seguito.

#### 4.2.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

Si prevede che siano svolte le seguenti operazioni:

- a) ricezione da parte del *Partecipante* delle due SPE fornite dall'INMRI;

- b) accensione, stabilizzazione dello strumento usato dal Partecipante e determinazione del fondo strumentale, seguendo le indicazioni riportate nella Nota Informativa;
- c) acquisizione delle letture delle SPE fornite dall'INMRI mediante lo strumento del Partecipante, rispettando le condizioni sperimentali specificate in Tabella 7 e seguendo le indicazioni riportate nella Nota Informativa;
- d) effettuazione dell'analisi dei dati ottenuti e registrazione del valore del misurando nella Scheda Risultati fornita dall'INMRI;
- e) spedizione delle due SPE al Partecipante successivo, secondo la lista di prenotazione, mediante il corriere stabilito dall'INMRI.

Il *Partecipante* realizzerà autonomamente le condizioni di misura di Tabella 7 e utilizzerà le proprie attrezzature per stabilire il valore del misurando per ciascuna sorgente oggetto dell'ILC. Il *Partecipante* è autonomo nella scelta dello strumento per eseguire le misurazioni richieste nel presente ILC.

È responsabilità del *Partecipante* avere cura delle sorgenti ricevute affinché queste non subiscano danni e/o alterazioni.

### 4.3 Valori di riferimento ed incertezze

I valori di riferimento utilizzati saranno determinati dall'INMRI sulla base dei campioni nazionali primari e secondari sviluppati e mantenuti dall'INMRI stesso. Tali campioni sono stati confrontati con analoghi campioni sviluppati da altri Istituti Metrologici Nazionali nell'ambito dell'accordo CIPM-MRA e pertanto sono equivalenti.

L'incertezza estesa ( $k=2$ ) del valore di riferimento del misurando deriva dal contributo di diverse fonti. Tali fonti sono associate sia ai metodi con cui si realizza presso l'INMRI il campione della grandezza relativa al misurando, sia ai metodi di successiva disseminazione del campione.

L'incertezza estesa ( $k=2$ ) del valore del misurando, fornito dal *Partecipante*, sarà anch'essa risultante dalla combinazione di diverse fonti che dovranno essere valutate e riportate dal *Partecipante* unitamente alla indicazione del metodo di valutazione utilizzato (tipo A o B).

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

#### 4.3.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

La riferibilità metrologica del MRC utilizzato nel presente ILC è ai campioni primari di attività di tali radionuclidi mantenuti presso l'INMRI.

Il MRC verrà preparato per diluizione gravimetrica, fino al volume finale di circa 50 L, di una sorgente liquida acquosa tarata con i sistemi campione dell'INMRI. In base al numero di *Partecipanti* iscritti al Programma potrà essere necessario preparare più di un lotto di MRC. L'equivalenza tra i vari lotti sarà controllata e garantita dall'INMRI. L'omogeneità del MRC verrà accuratamente controllata a livello di volume di 0,5 L.

Le incertezze dei valori di riferimento saranno nell'intervallo 1-3% ( $k=1$ ), in funzione del radionuclide e del livello di omogeneità del MRC.

#### 4.3.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

La riferibilità metrologica delle misure di attività, realizzate con l'attivimetro portatile, è ai campioni primari di attività dei radionuclidi di interesse del presente ILC mantenuti presso l'INMRI.

Si lascia al *Partecipante* autonomia nella scelta dei radionuclidi, tra quelli indicati per l'ILC, da utilizzare per l'ILC.

#### 4.3.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

La riferibilità metrologica della concentrazione di radon di riferimento per l'ILC è ai campioni

primari di attività di tale radionuclide mantenuto presso l'INMRI. Gli andamenti temporali e l'omogeneità della concentrazione sono mantenuti con ventilatori e controllati con opportuni monitori attivi dislocati all'interno del locale di esposizione. Come detto, l'equivalenza di eventuali ripetizioni di cicli di esposizione sarà garantita dall'INMRI.

Le incertezze dei valori di riferimento saranno nell'intervallo 2-3% (k=1).

#### 4.3.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Il complesso di misura costituito di rivelatore, elettrometro e cavo a basso rumore, è tarato in termini di  $D_w$  nel fascio di radiazione gamma di riferimento del  $^{60}\text{Co}$ , per confronto indiretto con il campione primario di  $D_w$  operante presso l'INMRI.

L'INMRI determinerà mediante l'Eq. 1 il valore della dose assorbita in acqua effettivamente somministrata al rivelatore negli irraggiamenti effettuati dal *Partecipante*.

$D_{w,Q,f} = M_{Q,f} N_{D,w} k_{Q,f}$	1
---------------------------------------	---

dove  $Q$  indica la qualità del fascio di fotoni utilizzato, espressa in termini di  $\text{TPR}_{20,10}$  o  $\%dd(10)$ ,  $f$  indica le dimensioni del campo di radiazione,  $M_Q$  è il valore del segnale prodotto dal rivelatore derivato dai dati di lettura registrati dal *Partecipante* e comunicati all'INMRI,  $N_{D,w}$  è il coefficiente di taratura del complesso di misura alla qualità di riferimento del  $^{60}\text{Co}$  e  $k_{Q,f}$  è un fattore correttivo complessivo, determinato dall'INMRI, che corregge per la differente risposta del complesso di misura nel fascio di radiazione  $Q$  e dimensione di campo  $f$  rispetto alle condizioni sperimentali di taratura.

Alla qualità  $Q$  e per il campo  $f$ , il valore di  $D_{w,Q,f}$  determinato con l'Eq. 1 rappresenta il valore di riferimento,  $D_{\text{rif}}$ , per il confronto.

L'incertezza complessiva sul valore di  $D_{\text{rif}}$  deriva dal contributo di diverse fonti. Tali fonti sono associate sia ai metodi con cui si realizza presso l'INMRI l'unità di misura della dose assorbita in acqua (mediante il corrispondente campione nazionale), la taratura del complesso di misura e la determinazione dei fattori correttivi, sia alla misurazione del segnale prodotto dal rivelatore durante gli irraggiamenti effettuati dal *Partecipante*.

Per quanto riguarda l'incertezza sui valori delle dosi erogate che il *Partecipante* comunicherà all'INMRI, si precisa che tale incertezza deve includere sia l'incertezza associata al metodo adottato dal *Partecipante* per la determinazione della dose assorbita nel punto di misura, sia le incertezze associate al posizionamento del rivelatore, alla riproducibilità dell'output dell'acceleratore e all'uniformità del campo di radiazione.

#### 4.3.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

La riferibilità delle misure nell'ILC N. 5 sarà assicurata:

- a) Per gli irraggiamenti in fasci di radiazioni gamma emesse da sorgenti di  $^{137}\text{Cs}$ , dal campione di misura di riferimento dell'INMRI della grandezza kerma in aria  $K_a$ , riferibile al campione di  $K_a$  del Bureau International des Poids et Mesures (BIPM);
- b) Per gli irraggiamenti in fasci di radiazioni x filtrate di medie energie, al campione nazionale di  $K_a$  dell'INMRI, la camera ad aria libera di tipo "Attix" mod. Victoreen 481.

I dosimetri saranno irraggiati su fantoccio standard ISO *Slab*. Ai fini del confronto, ai valori di equivalente di dose  $H_p(10)$  impartiti sui dosimetri di tipo passivo di proprietà del *Partecipante* sarà associato il valore della corrispondente incertezza.

#### 4.3.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

La riferibilità metrologica delle misure del rateo di emissione superficiale delle SPE utilizzate nell'ILC è ai campioni primari di tale grandezza fisica sviluppati e mantenuti presso l'INMRI.

## 5 SVOLGIMENTO DEGLI ILC

### 5.1 Iscrizione e prenotazione

I laboratori che intendono aderire al Programma, in uno a più ILC, si **iscrivono** (utilizzando l'applicazione resa disponibile alla pagina web <https://www.inmri.enea.it/attivita-di-ricerca/confronti-interlaboratorio.html>, tramite la quale riceveranno notifica di registrazione ed attribuzione di un Numero d'Iscrizione) e possono successivamente **prenotare** la data in cui effettueranno le misurazioni, scegliendola tra quelle rese disponibili dall'INMRI attraverso il calendario che sarà pubblicato alla pagina citata poc'anzi. In mancanza di selezione di una data da parte del laboratorio (*Partecipante*) o ad esaurimento delle date rese disponibili, le registrazioni sono comunque accettate e inserite in una lista d'attesa. In caso di nuove disponibilità, i laboratori in lista d'attesa saranno contattati secondo l'ordine cronologico di registrazione per concordare la data in cui effettuare il confronto.

La partecipazione a ciascun ILC prevede l'esecuzione di una sola prova per ciascun misurando. È estraneo agli obiettivi del Programma la verifica, attraverso prove *multiple* sullo stesso misurando, della capacità di misura dei Partecipanti che volessero sottoporsi a prova per ciascuna declinazione delle loro apparecchiature. Tale obiettivo è invece rimandato a verifiche interne. Casi particolari, in cui si richieda di partecipare con più di una prova per ciascun misurando, dovranno esser debitamente motivati con una lettera di richiesta, da inviare via email a [inmri@enea.it](mailto:inmri@enea.it). La richiesta sarà valutata dallo staff INMRI incaricato dello svolgimento di ciascuno specifico ILC.

In fase di iscrizione al Programma:

- a) il *Partecipante* è contraddistinto con un Numero d'Iscrizione progressivo e comunica i dati identificativi del centro e indica un Punto di Contatto Generale per le successive comunicazioni riguardanti i confronti;
- b) l'INMRI associa al Partecipante un Codice Riservato, e tale associazione è nota soltanto al Referente Tecnico del *Partecipante* e al Referente Tecnico INMRI per lo specifico ILC. Questo permetterà la successiva divulgazione dei risultati del confronto in modalità anonima per il singolo *Partecipante*.

I Codice Riservati non saranno correlati alla sequenza temporale di registrazione o di svolgimento dei confronti.

I dati "*Partecipante*" e "Codice Riservato" sono forniti in una Scheda Partecipante inviata dall'INMRI a ciascun Referente Tecnico del *Partecipante*.

Entro la data prenotata per il confronto il *Partecipante* riceve dall'INMRI i materiali o strumenti necessari per lo svolgimento dell'ILC, unitamente alla Nota Informativa e la Scheda Risultati. Queste ultime sono anche inviate anticipatamente via e-mail al Referente Tecnico del *Partecipante*.

Successivamente al ricevimento dei materiali/strumenti, il *Partecipante* effettua le misurazioni, riportando i risultati ottenuti nella Scheda Risultati, secondo quanto riportato nella Nota Informativa.

La Scheda Risultati compilata dovrà essere inviata al Referente Tecnico dell'INMRI per lo specifico ILC, via e-mail, entro il termine specificato nella Nota Informativa.

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

#### 5.1.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

Nulla di specifico da segnalare.

#### 5.1.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

Nulla di specifico da segnalare.

#### 5.1.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

È vietata la riproduzione, anche parziale, del documento senza l'autorizzazione dell'INMRI.

Nulla di specifico da segnalare.

#### 5.1.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Dopo la prenotazione della data di effettuazione delle misurazioni, il *Partecipante* riceverà la Nota Informativa con l'indicazione dei valori di dose assorbita che dovranno essere erogati nelle diverse condizioni sperimentali. Il *Partecipante* stabilirà mediante il proprio sistema di pianificazione dei trattamenti (TPS) le unità monitor da somministrare e appena possibile, ma in ogni caso prima dalla data degli irraggiamenti, invierà al Referente Tecnico dell'INMRI, la stampa (i.e. file formato pdf) del report del TPS. Il report dovrà specificare il numero pianificato di unità monitor da erogare per le condizioni sperimentali del confronto, ad esclusione della condizione di campo 10 cm x 10 cm.

Entro la data prenotata il *Partecipante* riceverà dall'INMRI un complesso di misura costituito da un rivelatore a stato solido, un elettrometro e un cavo di collegamento di lunghezza 20 m unitamente a dettagliate istruzioni operative per l'utilizzo della strumentazione.

Il *Partecipante* effettuerà gli irraggiamenti alla data stabilita e entro cinque giorni dagli irraggiamenti dovrà inviare all'INMRI la Scheda Risultati compilata.

Saranno utilizzati diversi complessi di misura in modo da permettere l'esecuzione degli irraggiamenti contemporaneamente da parte di più *Partecipanti*. L'equivalenza in termini di prestazioni tra i diversi complessi di misura sarà preventivamente verificata dall'INMRI.

#### 5.1.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

Nulla di specifico da segnalare.

#### 5.1.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

### 5.2 Spedizione/Ricevimento di Materiali/Strumenti di Riferimento

La spedizione dei Materiali/Strumenti di Riferimento (nel seguito "materiale") necessari per lo svolgimento degli ILC è effettuata tramite corriere espresso, gestita dall'INMRI e a proprio carico.

Per la gestione delle spedizioni il *Partecipante* comunica all'INMRI all'atto della registrazione:

- indirizzo esatto per la consegna del materiale;
- orario di apertura del servizio di ricevimento/prelievo del materiale;
- un *Referente Spedizioni del Partecipante* per il ricevimento/spedizione del materiale: nome, numero di telefono e indirizzo e-mail.

Il regolare svolgimento delle spedizioni verso e da il *Partecipante* prevede le seguenti operazioni:

- in corrispondenza delle date proposte nel calendario, l'INMRI predispone il documento di trasporto (DDT) per la spedizione del materiale a/da il *Partecipante* e incarica il corriere del trasporto;
- il corriere incaricato provvede al ritiro del pacco assicurando la partenza del materiale;
- al ritiro del materiale da parte del corriere, l'INMRI informa via e-mail il *Referente Spedizioni del Partecipante* dell'avvenuta spedizione;
- al ricevimento del materiale il *Partecipante* comunica al *Referente Spedizioni* dell'INMRI l'avvenuta ricezione del materiale spedito;
- il *Partecipante*, comunica al *Referente Tecnico dell'INMRI* il ricevimento del materiale in condizioni integre;
- il *Partecipante* effettua le misurazioni previste informando *Referente Tecnico dell'INMRI* di eventuali problemi riscontrati.
- Per gli ILC nei quali è prevista una successiva spedizione del materiale/strumento (o verso l'INMRI o verso altro *Partecipante*) il *Partecipante* predispone il pacco per la spedizione, sempre curata dall'INMRI.

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

### 5.2.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

Il MRC sarà predisposto in opportuni contenitori forniti dall'INMRI.

Il MRC è consegnato a titolo di cessione definitiva. A tal fine, si richiede che ciascun *Partecipante* compili una Dichiarazione di Presa in Carico, restituendola all'INMRI debitamente firmata.

Il *Partecipante* dovrà farsi carico dell'eventuale smaltimento del MRC una volta non più utile.

### 5.2.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

Le spedizioni sono organizzate in cicli settimanali che prevedono:

- Lunedì: partenza della strumentazione con ritiro del pacco da parte del corriere incaricato;
- Entro giovedì della stessa settimana: completamento delle misurazioni del *Partecipante*;
- Venerdì: predisposizione del pacco contenente la strumentazione per la successiva spedizione. Il corriere ritira il pacco il lunedì successivo.

Il complesso di misura viene inizialmente spedito dall'INMRI, poi viaggia da un *Partecipante* all'altro secondo le indicazioni dell'INMRI. È compito del *Partecipante* predisporre il pacco per la successiva spedizione. Si prevede il rientro della strumentazione all'INMRI per effettuare le verifiche di stabilità della risposta secondo un calendario che verrà stabilito.

### 5.2.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

Per tale specifico ILC, il *Partecipante* dovrà inviare all'INMRI gli strumenti con cui intende partecipare all'ILC con rispettivi alimentatori se necessari e le istruzioni per il corretto avvio delle misure. Ogni altro accessorio va rimosso dalle custodie degli strumenti.

Ogni strumento va spedito in una custodia facilmente riutilizzabile per la restituzione. È opportuno che il *Partecipante* provveda a contrassegnare la propria strumentazione (monitori e alimentatori) con proprio nome ed indirizzo.

### 5.2.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Le spedizioni saranno organizzate in cicli settimanali che prevedono:

- Lunedì partenza della strumentazione con ritiro del pacco da parte del corriere incaricato.
- Entro giovedì consegna del pacco con la strumentazione al *Partecipante*.
- Venerdì irraggiamenti e misurazioni presso il *Partecipante*. Al termine, predisposizione del pacco contenente la strumentazione per la successiva spedizione. Il corriere ritirerà il pacco il lunedì successivo.

Il complesso di misura viene inizialmente spedito dall'INMRI, poi viaggia da un *Partecipante* all'altro secondo le indicazioni dell'INMRI. Si prevede il rientro della strumentazione all'INMRI per effettuare le verifiche di stabilità della risposta secondo un calendario che verrà stabilito.

Il rispetto della tempistica programmata è essenziale per lo svolgimento del confronto. Qualsiasi ritardo o inconveniente deve essere tempestivamente comunicato per individuare possibili azioni correttive. Pertanto, è opportuno che tutte le comunicazioni via e-mail tra i Referenti per il ritiro/consegna materiali dell'INMRI e del *Partecipante* siano inviate anche ai rispettivi Referenti Tecnici.

### 5.2.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

Sarà responsabilità del *Partecipante* apporre, su ciascun dosimetro inviato, un'etichetta che riporti:

1. Il Codice Riservato che identifica il *Partecipante* in forma anonima;
2. Il numero seriale del dosimetro, da 1 al numero massimo previsto, pari a 16.

INMRI si impegna ad irraggiare e restituire i dosimetri a mezzo corriere espresso, per le letture presso il *Partecipante*, entro due settimane dalla ricezione degli stessi. Alla ricezione dei dosimetri irraggiati,

il *Partecipante* dovrà effettuare le letture utilizzando la propria apparecchiatura e comunicare, entro i termini indicati dal protocollo, i valori misurati ad INMRI, che procederà all'analisi dei dati.

#### 5.2.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

Le due SPE saranno fornite, per mezzo di un unico trasporto e corriere, in due contenitori separati.

Le spedizioni delle due SPE sono organizzate in cicli settimanali che prevedono:

- Lunedì: partenza delle sorgenti dall'INMRI con ritiro del pacco da parte del corriere incaricato;
- entro giovedì della stessa settimana: effettuazioni delle misurazioni da parte del *Partecipante*;
- Venerdì: predisposizione del pacco contenente la strumentazione per la successiva spedizione. Il corriere ritira il pacco il lunedì successivo.

Le due SPE vengono inizialmente spedite dall'INMRI, poi viaggiano da un *Partecipante* all'altro secondo le indicazioni dell'INMRI. Si prevede il rientro delle stesse all'INMRI, per effettuare verifiche di integrità, secondo un calendario che verrà stabilito.

Sarà cura del *Partecipante* provvedere al buon uso delle sorgenti assicurandone l'integrità e a riutilizzare gli stessi contenitori per la successiva spedizione.

Il *Partecipante* è tenuto ad avvisare tempestivamente l'INMRI in caso di danneggiamento delle sorgenti o di riscontro di ricezione di sorgenti danneggiate.

Il *Partecipante* deve comunicare all'INMRI l'avvenuta consegna al *Partecipante* successivo delle due sorgenti.

### 5.3 Utilizzazione/Manipolazione dei Materiali/Strumenti di Riferimento

Durante tutte le fasi del lavoro si raccomanda di adottare tutte le misure di prevenzione da rischi radioprotezionistici e convenzionali legati alle attività lavorative.

Effettuare le operazioni di manipolazione dei materiali/strumenti in ambienti e con strumenti idonei, seguendo le indicazioni riportate nella Nota Informativa, facendo massima attenzione a non danneggiare i materiali/strumenti ricevuti.

Eventuali danni arrecati a materiali/strumenti per comprovata incuria del *Partecipante* potrebbero essergli addebitati.

Evitare ogni trattamento chimico o altre manipolazioni, non strettamente richieste, dei materiali e/o strumenti.

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

#### 5.3.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

Durante tutte le fasi del lavoro si raccomanda di adottare le seguenti precauzioni:

- a) mantenere il MRC sempre in contenitori chiusi ermeticamente e ridurre al minimo, durante le operazioni di travaso, le esposizioni del MRC all'aria per evitarne l'evaporazione incontrollata;
- b) detenere il MRC in ambienti idonei e smaltire correttamente i residui solidi delle sorgenti preparate per il conteggio dello Sr-90.

#### 5.3.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

Durante tutte le fasi del lavoro si raccomanda di adottare le seguenti precauzioni, consistenti nella verifica da parte del *Partecipante* che:

- a) la strumentazione ricevuta sia completa e integra e che nulla osta all'esecuzione delle misurazioni nella data prestabilita;

- b) tutte le condizioni di misura siano effettuate secondo le istruzioni fornite nella Nota Informativa;
- c) lo strumento portatile sia maneggiato con cura, non subisca urti e sia posizionato in un locale a basso fondo e libero di eventuali altre fonti o campi di radiazione.

Al termine delle misurazioni si richiede al *Partecipante* di controllare che lo strumento venga riconsegnato senza alcuna traccia di contaminazione radioattiva e nelle condizioni in cui è stato ricevuto e di comunicare preventivamente all'INMRI eventuali danneggiamenti che accidentalmente potrebbero essersi verificati.

Si richiede al *Partecipante*, al termine delle misurazioni, di riporre con attenzione tutta la strumentazione ricevuta nel contenitore per la spedizione.

### 5.3.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

Prima della spedizione dei monitori all'INMRI, il *Partecipante* verifica che la strumentazione sia completa ed integra e in buono stato perché nulla osti all'esecuzione delle misurazioni nella data prestabilita. In particolare, verifica tutte le condizioni di misura secondo le istruzioni fornite nella Nota Informativa.

Al termine delle misurazioni si richiede al *Partecipante* di controllare che i monitori riconsegnati siano nelle stesse condizioni in cui erano prima della spedizione all'INMRI. Eventuali difformità o scambio di strumentazione devono essere comunicate tempestivamente all'INMRI.

### 5.3.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Al ricevimento del materiale il *Partecipante* verificherà che nulla osta all'esecuzione degli irraggiamenti e delle misurazioni nella data prestabilita. In particolare verificherà la fattibilità di posizionare il rivelatore in acqua secondo le istruzioni fornite e di collegarlo all'elettrometro.

L'elettrometro dovrà essere collocato all'esterno della sala di irraggiamento e collegato al rivelatore utilizzando il cavo triassiale fornito con la strumentazione. In mancanza di vie alternative sarà possibile il passaggio del cavo sotto la porta della sala di irraggiamento, prestando attenzione a non schiacciarlo o piegarlo.

Particolare attenzione dovrà essere posta nel selezionare sull'elettrometro il valore 0 volt per la tensione di polarizzazione, che se diversa da zero può danneggiare permanentemente il rivelatore.

Al termine delle misurazioni si dovrà asciugare il rivelatore e riporlo nella sua custodia avendo applicato il tappo di protezione sul connettore. Si dovrà riavvolgere il cavo senza piegarlo e applicare i tappi di protezione sui connettori. Quindi si dovrà riporre con attenzione tutta la strumentazione nel contenitore per la spedizione. Nel pacco dovrà essere inserita anche una copia della Nota Informativa.

### 5.3.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

Alla ricezione dei dosimetri irraggiati, il *Partecipante* dovrà controllare che tutti i dosimetri spediti siano stati restituiti. Eventuali difformità dovranno essere comunicate tempestivamente tra l'INMRI e il *Partecipante*.

### 5.3.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

Durante tutte le fasi del lavoro si raccomanda al *Partecipante* di adottare le seguenti precauzioni:

- a) utilizzare le due SPE secondo indicazioni contenute nella Nota Informativa fornita dall'INMRI;
- b) spedizione delle due SPE al *Partecipante* successivo o all'INMRI, secondo il programma stabilito, così come le stesse sono state ricevute.

## 5.4 Misurazioni

Istruzioni dettagliate sullo svolgimento delle misurazioni sono inviate al *Partecipante* nella Nota Informativa. Le istruzioni riguardano:

- caratteristiche dei materiali/strumenti utilizzati per l'ILC;
- operazioni di misura da eseguire;
- registrazione dei risultati delle misurazioni.

Precauzioni e accorgimenti da adottare per la misura:

- controllo preventivo e visivo di buono stato dei materiali/strumenti ricevuti;
- assicurazione che nel laboratorio di misura non ci siano fonti radioattive diverse dal campione da misurare;
- assicurazione di aver posizionato bene il campione da misurare secondo la geometria di misura del *Partecipante*;
- esecuzione della misura secondo diverse letture ripetute a tempi diversi;
- registrazione dei dati sulla Scheda Risultati secondo le Istruzioni contenute nella Nota Informativa.

In tutte le fasi di analisi dati, si richiede di utilizzare i dati nucleari riportati nell'archivio internazionale Monographie BIPM-5, disponibili ai seguenti indirizzi:

- <http://www.bipm.org/en/publications/monographie-ri-5.html>
- [http://www.nucleide.org/DDEP\\_WG/DDEPdata.htm](http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm)

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

### 5.4.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

Relativamente al presente ILC, ogni *Partecipante* dovrà, in particolare:

- assicurarsi di avere ricevuto il MRC integro e in buon stato per effettuare le misure;
- provvedere a comunicare all'INMRI via email l'avvenuta consegna del MRC;
- provvedere a conservare o smaltire, secondo norme vigenti, il MRC che l'INMRI considera definitivamente ceduto al *Partecipante* una volta che tale materiale è in possesso del *Partecipante*.

### 5.4.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

Relativamente all'ILC 2 ogni *Partecipante* dovrà anche, in particolare:

- realizzare i collegamenti per il funzionamento dell'attivimetro ricevuto secondo istruzioni fornite;
- mettere in opera la strumentazione, impostando la modalità e i parametri di acquisizione;
- controllare il buon funzionamento del complesso di misura ricevuto
- la registrazione dei dati necessari e/o utili per il confronto.

### 5.4.3 ILC 3 Concentrazione di attività del Rn-222 in aria

Relativamente all'ILC 3 ogni *Partecipante* dovrà anche, in particolare:

- fornire all'INMRI tutte le informazioni necessarie per la messa in opera della strumentazione inviata;
- controllare il buon funzionamento del complesso di misura prima di inviarlo all'INMRI;
- impostare, ove possibile, sulla strumentazione tempi di integrazione di un'ora;
- comunicare all'INMRI, al momento della restituzione della strumentazione del buono stato della stessa.

### 5.4.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Istruzioni dettagliate sono fornite riguardo:

- la realizzazione dei collegamenti elettronici;
- la messa in opera della strumentazione (impostazione della modalità e dei parametri di acquisizione);
- il controllo iniziale di buon funzionamento del complesso di misura (misura delle correnti di perdita);
- le operazioni di irraggiamento e acquisizione dei segnali;
- la registrazione dei dati necessari e/o utili per il confronto.

#### 5.4.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

Non saranno inviate ai *Partecipanti* istruzioni dettagliate per la misura dell'equivalente di dose profonda perché tali misure dovranno essere effettuate secondo le pratiche consuete già stabilite presso il Laboratorio del *Partecipante*.

#### 5.4.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

Per lo specifico ILC saranno fornite alcune indicazioni nella Nota Informativa per la corretta esecuzione delle misure. Sarà tuttavia lasciata libertà al *Partecipante* di effettuare tali misure secondo le pratiche consuete già stabilite presso il proprio Laboratorio.

### 5.5 Invio risultati

Come detto sopra, precedentemente alla data delle misurazioni, l'INMRI invia, per posta elettronica, al Referente Tecnico del *Partecipante* una Nota Informativa con le Istruzioni per l'esecuzione del confronto e la Scheda Risultati predisposta per la registrazione dei dati da parte del *Partecipante*.

Ai *Partecipanti* viene chiesto di compilare la Scheda Risultati predisposta dall'INMRI secondo quanto specificato nella Nota Informativa. In particolare, nella Scheda Risultati, devono essere registrati:

- la data e l'ora di inizio misura;
- i valori delle letture effettuate;
- i risultati delle misure effettuate;
- le incertezze estese (fattore di copertura  $k=2$ ) associate ai dati riportati.

La Scheda Risultati è costituita da un file di Microsoft Excel predisposto per l'inserimento da parte del *Partecipante* dei dati relativi alle misurazioni in celle che risultano chiaramente evidenziate. La Scheda Risultati identifica il *Partecipante* ESCLUSIVAMENTE attraverso il Codice riservato assegnato, non riportando il nome del *Partecipante*.

A conclusione della fase operativa del confronto, il *Partecipante* invia la Scheda Risultati compilata al *Referente Tecnico dell'INMRI* che lo inoltra, per le successive operazioni di analisi, omettendo il mittente del file stesso. In questo modo si garantisce l'anonimato del *Partecipante* in tutte le fasi successive di analisi e presentazione dei risultati.

Ai *Partecipanti* è richiesto di registrare e tenere a disposizione dell'INMRI tutti i dati relativi alle misure, al fine di consentire eventuali approfondimenti sulle procedure adottate.

In riferimento al corretto trattamento dei dati sperimentali, ai fini della corretta stima delle incertezze correlate, è importante che ciascun *Partecipante* fornisca, quando è possibile, evidenze sulla riferibilità del proprio sistema di misura con il quale si sono svolte le misurazioni oggetto dell'ILC.

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

#### 5.5.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

#### 5.5.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

### 5.5.3 ILC 3 Concentrazione di Rn-222 in aria

### 5.5.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Come precisato al punto 5.1.4, prima degli irraggiamenti il *Partecipante* dovrà aver inviato al Referente Tecnico dell'INMRI, il report del TPS relativo al piano degli irraggiamenti da effettuare per i campi diversi dal 10 cm x 10 cm. Qualsiasi variazione avvenga nella fase esecutiva degli irraggiamenti rispetto a quanto pianificato dovrà essere motivata e giustificata dal *Partecipante* con una nota da allegare alla Scheda Risultati compilata.

### 5.5.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

Nulla di specifico da segnalare

### 5.5.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

## 6 ANALISI E PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

### 6.1 Analisi dati

L'analisi dei risultati sarà basata sul confronto dei valori dei misurandi forniti da ciascun *Partecipante* con i valori di riferimento degli stessi misurandi forniti dall'INMRI. Gli scarti ottenuti saranno analizzati con riferimento alle incertezze riportate dal *Partecipante* e quelle dichiarate dall'INMRI.

I risultati del confronto sono analizzati in termini di indicatori comunemente adoperati in prove valutative e confronti interlaboratorio [ISO, 2016]. Tra essi:

- differenza percentuale dei valori del misurando forniti dal *Partecipante*,  $M$ , e quelli di riferimento forniti dall'INMRI,  $M_{rif}$ :

$R = \frac{M - M_{rif}}{M_{rif}} \times 100$	2
--	---

- errore normalizzato o indice di compatibilità:

$E_n = \frac{M - M_{rif}}{\sqrt{U^2 + U_{rif}^2 - 2U_{cp}^2}}$	3
--	---

dove  $U$  è l'incertezza estesa (fattore di copertura  $k=2$ ) associata al valore di  $M$  come dichiarato dal *Partecipante*,  $U_{rif}$  è l'incertezza estesa ( $k=2$ ) di  $M_{rif}$  stimata dall'INMRI e  $U_{cp}$  è l'eventuale componente di incertezza ( $k=2$ ) comune al *Partecipante* e all'INMRI, in quanto associata al *Campione Nazionale* utilizzato come origine della catena di riferibilità per le misurazioni o ad altri dati comuni (esempio dati nucleari).

Entro due mesi dall'invio dei risultati ciascun *Partecipante* riceve, in forma riservata, i risultati relativi alle proprie misurazioni.

Aspetti specifici di ciascun ILC sono trattati nel seguito del presente capitolo.

#### 6.1.1 ILC 1 Attività di radionuclidi in una soluzione liquida acquosa

Nulla di specifico da segnalare

#### 6.1.2 ILC 2 Attività di radiofarmaci

Nulla di specifico da segnalare

#### 6.1.3 ILC 3 Concentrazione di Rn-222 in aria

Nulla di specifico da segnalare

#### 6.1.4 ILC 4 Misura di dose assorbita in acqua

Al ricevimento della Scheda Risultati compilata dal *Partecipante*, l'INMRI provvederà alla determinazione, per ognuna delle dimensioni di campo considerate, il valore della dose di riferimento,  $D_{rif} = D_{w,Q,f}$ , e l'incertezza ad esso associata ( $M_{rif}$  e  $U_{rif}$  in Eq. 2 e Eq. 3).

Per le dimensioni di campo diverse da 10 cm x 10 cm, il valore di  $D_{rif}$  sarà confrontato con il valore prestabilito della dose da erogare,  $D_{ILC}$ , e con il valore della dose erogata dichiarato dal *Partecipante*,  $D_{Lab}$ . Escludendo interpretazioni erranee delle istruzioni da parte del *Partecipante*,  $D_{Lab}$  è uguale a  $D_{ILC}$  nei limiti delle approssimazioni necessarie.

Per il campo 10 cm x 10 cm il valore di  $D_{rif}$  sarà confrontato con il valore della dose erogata dichiarato dal *Partecipante*,  $D_{Lab}$ . Questo confronto permetterà di stabilire il livello di accordo tra le catene di riferibilità dell'INMRI e del *Partecipante* e di valutare eventuali fattori di normalizzazione da applicare ai valori di dose nominali o dichiarati dal *Partecipante* per i campi diversi dal campo 10 cm x 10 cm.

#### 6.1.5 ILC 5 Equivalente di dose personale

I valori di dose personale impartiti ai dosimetri saranno confrontati con i valori misurati da ciascun *Partecipante*, utilizzando il già citato *errore normalizzato*  $E_n$ , mentre la *differenza percentuale* sarà sostituita, per il solo ILC 5, dalla *Risposta* definita come:

$R = \frac{H_p(10, \alpha)_{partecipante}}{H_p(10, \alpha)_{INMRI}}$	4
--	---

Sarà dunque valutato lo scostamento della misura rispetto al valore di riferimento e confrontato con i criteri della normativa tecnica di riferimento.

#### 6.1.6 ILC 6 Contaminazione superficiale

### 6.2 Presentazione risultati

Ciascun *Partecipante* sarà identificato solo con il proprio "*Codice Riservato*".

Non si prevede l'emissione di Certificazione bensì di Rapporti tecnici di consuntivo.

I risultati saranno presentati in una riunione aperta a tutti i *Partecipanti*.

A conclusione del programma di confronti i risultati saranno pubblicati in un rapporto tecnico conclusivo dal quale sarà possibile dedurre, per le specifiche tipologie di misurazione considerate, il livello di affidabilità diffuso sul territorio.

I dati saranno custoditi da ENEA-INMRI e non potranno esser resi disponibili in forma diversa dal rapporto tecnico appena menzionato.

## 7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[DLGS, 2020] Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101, "Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, GU Serie Generale n.201 del 12-08-2020 - Suppl. Ordinario n. 29, 2020.

[EURATOM, 2013] Direttiva 2013/59/EURATOM del Consiglio del 5 dicembre 2013, "Norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti", 2013.

[GU, 2005] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Parte Prima, Anno 146°, No. 168, 21 luglio 2005, D. Min. 30 marzo 2005, Approvazione e pubblicazione del I supplemento alla XI edizione

della Farmacopea ufficiale della Repubblica italiana.

- [IAEA, 2006] International Atomic Energy Agency, “Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water”, Technical Report Series No. 398, IAEA, Vienna, 2006.
- [IAEA, 2017] International Atomic Energy Agency, “Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy”, Technical Reports Series No. 483, IAEA, Vienna, 2017.
- [ISO, 1996] International Organization for Standardization, ISO 4037-1:1996, “X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy. Part 1: Radiation characteristics and production methods”, 1996.
- [ISO, 2010] International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission, ISO/IEC 17043:2010, “Conformity assessment - General requirements for proficiency testing”, Online: <https://www.iso.org/standard/29366.html>.
- [ISO, 2016] International Organization for Standardization, ISO 13528:2016, “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison”, 2016.
- [ISO, 2016a] International Organization for Standardization, ISO 7503-1:2016, “Measurement of radioactivity — Measurement and evaluation of surface contamination — Part 1: General principles”, 2016.
- [ISO, 2016b] International Organization for Standardization, ISO 7503-3:2016, “Measurement of radioactivity — Measurement and evaluation of surface contamination — Part 3: Apparatus calibration”, 2016.
- [ISO, 2020] International Organization for Standardization, ISO 8769:2020, “Measurement of radioactivity — Alpha-, beta- and photon emitting radionuclides — Reference measurement standard specifications for the calibration of surface contamination monitors”, 2020.
- [McEwen, 2014] McEwen M R, DeWerd L A, Ibbott G S, Followill D S, Rogers D W O, Seltzer S M, Seuntjens J P., “Addendum to the AAPM’s TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon beams”, Med. Phys. 2014; 41: 041501 (20pp).
- [UNI, 2010] UNI, Norma Europea UNI CEI EB ISO/IEC 17043, “Valutazione della conformità – Requisiti generali per prove valutative interlaboratorio”, 2010.
- [UNI ISO, 2018] UNI ISO 14146:2018: Protezione dalle radiazioni - Criteri e curve limite di riferimento di prestazione per la verifica periodica di servizi di dosimetria, 2018
- [UNI ISO, 2021-1] UNI EN ISO 4037-1:2021 Radiazioni X e gamma di riferimento per la taratura dei dosimetri e dei rateometri e per la determinazione della loro risposta in funzione dell'energia dei fotoni - Parte 1: Caratteristiche e metodi di produzione della radiazione, 2021.
- [UNI ISO, 2021-3] UNI EN ISO 4037-3:2021 Radiazioni X e gamma di riferimento per la taratura dei dosimetri e dei rateometri e per la determinazione della loro risposta in funzione dell'energia dei fotoni - Parte 3: Taratura dei dosimetri ambientali e individuali e misurazione della loro risposta in funzione dell'energia e dell'angolo d'incidenza, 2021.
- [ISO, 2020a] International Organization for Standardization, ISO 12749-1:2020, Nuclear energy — Vocabulary — Part 1: General terminology, 2020.