

QUALITÀ della misura in Radioprotezione

INDICAZIONI OPERATIVE PER UN SISTEMA DI QUALITÀ METROLOGICA NELLE MISURE DI EQUIVALENTE DI DOSE AMBIENTALE H*(10) CON MONITORI DI AREA

Composizione Gruppo di Lavoro:

Francesco Campanella, Massimo Mattozzi, Antonio Sabatino Panebianco	ISPESL
Maurizio Bovi	INMRI-ENEA
Antonella Del Vecchio, Marco Minella, Massimiliano Pacilio	AIFM
Ruggero Cifani	AIRP
Francesco Malgieri, Anna Maria Segalini	ANPEQ

INTRODUZIONE	2
SCOPO DEL DOCUMENTO	2
STANDARDIZZAZIONE E RIFERIBILITÀ	3
SISTEMA DI QUALITÀ DELLA MISURA	4
SCHEDA STRUMENTO	7
ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA STRUMENTO	10
INDICAZIONI GENERALI E STRUTTURA DELLA SCHEDA	10
1. SEZIONE ANAGRAFICA	11
2 CARATTERISTICHE TECNICHE	11
3. MODALITÀ DI VERIFICA PERIODICA DELLE	11
CONDIZIONI DI BUON FUNZIONAMENTO	11
3 A - Verifiche periodiche della stabilità della risposta e della funzionalità.....	11
3.B - Modalità di verifica dello stato di pronto alla misura.....	12
3 C - Verifica della stabilità del coefficiente di taratura nelle tarature periodiche dello strumento	12
GLOSSARIO ASSOCIATO ALLA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA STRUMENTO.....	14
NOTE ESTRATTE DALLA DOCUMENTAZIONE INTERNAZIONALE.....	17
BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI	19
APPENDICE	20
VALUTAZIONE PREVENTIVA DELL'INCERTEZZA ASSOCIATA AL RISULTATO DELLE MISURAZIONI, SULLA BASE DEI DATI DISPONIBILI (CERTIFICATO DI TARATURA MANUALE STRUMENTO)	22
A valutazione preventiva dell'incertezza tipo composta nella modalità integrazione	23
B valutazione preventiva dell'incertezza tipo composta nella modalità rateo	24
C. valutazione preventiva dell'incertezza estesa	24

INTRODUZIONE

L'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro, oltre a essere organo tecnico scientifico coinvolto nel rilascio e rinnovo dei nulla osta di categoria A per l'utilizzo delle radiazioni ionizzanti nei luoghi di lavoro, è ente pubblico di ricerca che, ai sensi di quanto disposto dall'art. 9 del D.Lgs. 81/08, elabora linee guida e promuove la standardizzazione dei metodi nell'ambito delle materie di propria competenza, con particolare riferimento alla sicurezza e prevenzione.

Sulla base della propria esperienza quale organo di controllo, in particolare nei tre settori strategici di interesse rappresentati dalla sanità, dall'industria e dalla ricerca, nonché al fine di diffondere quella cultura nella quale la ricerca della qualità si deve conciliare con la garanzia della sicurezza, l'ISPESL ha inteso promuovere il gruppo di lavoro che ha elaborato il presente documento. Hanno partecipato: INMRI-ENEA (Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti), AIRP (Associazione Italiana di Radioprotezione), ANPEQ (Associazione Nazionale Professionale Esperti Qualificati), AIFM (Associazione Italiana di Fisica Medica).

SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento intende fornire indicazioni per un miglioramento della qualità delle misure ambientali di radiazioni fotoniche, effettuate a scopo di radioprotezione. La grandezza dosimetrica di interesse è quindi l'Equivalente di Dose Ambiente, $H^*(10)$ [1, 2].

Sulla base di quanto previsto dalle norme di buona tecnica e dalle raccomandazioni nazionali e internazionali di settore [3, 14], gli elementi essenziali per ottenere misure affidabili e di buona qualità sono:

- scelta opportuna dello strumento da utilizzare per ciascuna specifica operazione di misura, in relazione al tipo e alle caratteristiche della radiazione;
- utilizzo di strumenti periodicamente tarati in modo adeguato alla misurazione da effettuare, con riferibilità ai campioni nazionali o internazionali;
- effettuazione di verifiche periodiche delle buone condizioni di funzionamento degli strumenti utilizzati;

- adozione di procedure di misura standardizzate e validate;
- effettuazione di una adeguata analisi dei dati ottenuti;
- valutazione dell'incertezza complessiva associata al risultato finale della misurazione, conforme alle raccomandazioni internazionali.

Scopo aggiuntivo del documento consiste nel fornire indicazioni per uniformare il più possibile le modalità di compilazione e stesura della documentazione relativa alla strumentazione, da inserire nel registro di cui punto 4.1 dell'allegato XI del D.Lgs. 230/95 e s.m.i., dedicato alla raccolta della documentazione di cui all'art. 81 comma 1 lettere a), b), c) del decreto legislativo sopra richiamato, tenendo anche conto di quanto sancito dall'art. 79 comma 1 lettera b punto 4 del citato Decreto.

Risultato non meno significativo che il Gruppo di Lavoro si è prefisso è stato perseguire la standardizzazione dei metodi, così contribuendo sia a una riduzione del margine di errore e di discrezionalità nell'effettuazione delle misure, sia a una maggiore chiarezza, nella presentazione dei risultati, elemento di semplificazione non trascurabile nell'ambito del rapporto fra operatori e organismi di controllo.

Fatti salvi gli obiettivi sopra esplicitati, si evidenzia che i moduli inseriti nel documento contengono le informazioni necessarie e sufficienti per il raggiungimento dello scopo. I moduli possono essere integrati e/o modificati dal singolo radioprotezionista. Per agevolare la compilazione sono state inserite specifiche istruzioni ed esempi applicativi

STANDARDIZZAZIONE E RIFERIBILITÀ

La standardizzazione finalizzata alla garanzia di qualità in dosimetria è un processo che si basa sulla definizione di grandezze dosimetriche, nonché sull'identificazione di procedure di misura e sull'adeguatezza della strumentazione da utilizzare.

A tale riguardo, la taratura degli strumenti dosimetrici riveste particolare importanza in quanto, nell'ambito della garanzia dell'affidabilità e della qualità della misura in radioprotezione, permette la confrontabilità dei risultati.

La taratura di uno strumento deve essere “riferibile”, ovvero:

- realizzata mediante una catena metrologica ininterrotta che abbia come riferimento un campione nazionale o internazionale;
- effettuata presso un Istituto Metrologico Primario che abbia sottoscritto l'accordo *MRA-BIPM* (www.bipm.org/en/cipm-mra/), o presso uno dei laboratori accreditati da organismi che abbiano sottoscritto l'accordo MLA EA-ILAC (www.european-accreditation.org/content/mla/scopes.htm e www.ilac.org/ilacarrangement.html).

Per quanto concerne il panorama italiano:

- l'Istituto Metrologico Primario è l'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA, INMRI-ENEA (www.inmri.enea.it) istituito in forza della Legge n. 273 del 1991;
- i laboratori accreditati italiani sono i Centri del Servizio di Taratura in Italia, Centri SIT (www.sit-italia.it).

Per quanto sopra, la taratura di uno strumento può essere effettuata presso il Centro Metrologico Primario o presso laboratori accreditati come sopra, sia in ambito nazionale sia in ambito internazionale.

La riferibilità delle tarature interne viene garantita rispettando le condizioni riportate al successivo paragrafo.

SISTEMA DI QUALITÀ DELLA MISURA

Per ottenere risultati affidabili un sistema di misura deve operare secondo le procedure proprie di un sistema di conferma metrologica [3], contenenti criteri decisionali, tipici di ogni sistema qualità, che consentano di documentare i limiti di accettabilità delle prestazioni di uno strumento.

Conferma metrologica è un termine generale che comprende tutte le operazioni necessarie per garantire che gli strumenti di misura soddisfino i requisiti necessari all'utilizzo previsto.

Il sistema di conferma metrologica è fondato su 3 azioni:

1. taratura periodica dello strumento che sia in accordo con le modalità di utilizzo del medesimo;

2. verifica periodica della stabilità della risposta, con eventuali indicazioni delle azioni di rimedio in caso di esito non soddisfacente;
3. controlli di buon funzionamento da effettuare prima di ciascuna sessione di misura;

Punto 1: Lo strumento deve essere tarato in un campo di misura adeguato all'impiego per il quale lo strumento è destinato. I requisiti di taratura sono già stati opportunamente descritti, ma è opportuno evidenziare che il radioprotezionista può anche dotarsi di un sistema di riferibilità interno, individuando uno strumento “campione” precedentemente tarato in un Centro Metrologico Primario o in un laboratorio accreditato, che può essere utilizzato a fini di taratura nel rispetto di quanto raccomandato dalle norme di buona tecnica.

Si evidenzia che la taratura interna, la quale in realtà non dà luogo a una certificazione trasferibile a terzi in quanto la catena metrologica di riferibilità risulta interrotta, consente comunque di ottenere risultati affidabili e riferibili purché perseguiti secondo una procedura conforme a quanto sancito dalle norme di buona tecnica [4], ovvero contenente almeno i seguenti elementi: scopo, riferimenti bibliografici, apparecchiature impiegate, descrizione delle operazioni di misura, validazione, elaborazione dei dati, valutazione dell'incertezza di taratura [5], criteri di accettabilità dei risultati. Se il metodo di misura adottato è normalizzato ovvero descritto in norme di buona tecnica o a pubblicazioni scientifiche provenienti da Centro Metrologici Primari o da laboratori di taratura accreditati nazionali e internazionali non è necessaria la validazione.

Infine, le procedure di taratura interna sviluppate autonomamente devono consentire di dimostrare l'idoneità del metodo seguito.

Punto 2: la stabilità della risposta di uno strumento può essere verificata a mezzo di una sorgente di riferimento, non necessariamente tarata.

Le misure periodiche previste in tale ambito soddisfano la prescrizione dell'art 79 comma 1 lettera b punto 4 del D.L.gs n. 230/95.

I risultati delle verifiche periodiche, debitamente documentati, forniscono nel tempo indicazioni sulla stabilità di risposta e possono essere utili per motivare l'eventuale

adozione di intervalli più o meno ampi, sia per quanto attiene la taratura e sia per ciò che concerne le verifiche stesse.

In caso di risposta anomala dello strumento alla verifica periodica si dovrà procedere a manutenzione, taratura o sostituzione dello strumento.

Punto 3: I controlli da effettuare prima delle sessioni di misura sono in generale indicati nel manuale d'uso dello strumento fornito dal costruttore e non fanno parte dei controlli di verifica periodica della risposta. Le azioni da adottare nel caso in cui i controlli di buon funzionamento non diano esito positivo sono indicate nelle procedure del sistema di conferma metrologica.

La scheda strumento consta di 3 pagine predeterminate più una sezione conclusiva, per la quale si rimanda in appendice

n. scheda _____	SCHEDA STRUMENTO		pag. 1 di 3
Data _____	TIPOLOGIA STRUMENTO: _____		
Grandezza misurata e unità di misura	H * (10) ☐ _____ Ĥ * (10) ☐ _____		
1.SEZIONE ANAGRAFICA			
	STRUMENTO o LETTORE	SONDA	
Casa costruttrice			
Modello strumento			
N° matricola / serie			
2.CARATTERISTICHE TECNICHE			
Tipo di rivelatore			
Grandezza e unità di misura in cui è espressa la scala del lettore			
Tipo di radiazione	FOTONI		
Intervallo di energia			
Campo di misura nella modalità rateo			
Campo di misura nella modalità integrazione			
Condizioni ambientali previste di impiego dello strumento			
3.MODALITÀ PER LA VERIFICA PERIODICA DELLE CONDIZIONI DI BUON FUNZIONAMENTO			
3.A. Verifiche periodiche di stabilità della risposta e della funzionalità			
Descrizione del metodo e/o della procedura operativa utilizzati			
Valore della variazione massima della lettura dello strumento ritenuta accettabile			

SCHEDA STRUMENTO: Scheda N°.....Revisione N°.....Data Rev.....

sigla compilatore.....

n. scheda _____		SCHEDA STRUMENTO			pag. 3 di 3	
3.C Verifica della stabilità del coefficiente di taratura dello strumento nelle tarature periodiche						
Laboratorio certificante	Certificato		Qualità della radiazione	Coefficiente di taratura $N_{H^*(10)}$ espresso in	Incertezza estesa (intervallo di confidenza) ≈95%)	$\Delta N(\%) = \frac{(N_i - N_0)}{N_0} \cdot 100$ (4)
	N°	Data				
Valore della variazione massima del coefficiente di taratura ritenuta accettabile						

SCHEDA STRUMENTO: Scheda N° Revisione N° Data Rev.....

sigla compilatore.....

Nome e Cognome: _____

Numero d'ordine e grado: _____ Firma: _____

NOTA All'interno della scheda strumento deve essere inserita una specifica sezione relativa alla valutazione preventiva dell'incertezza associata al risultato delle misure per le quali viene utilizzato lo specifico strumento di cui trattasi: essa va realizzata dall'operatore radioprotezionista secondo le specifiche esigenze, tenendo conto delle modalità di utilizzo dello strumento, del contesto di misura, nonché garantendo il pieno rispetto delle norme di buona tecnica nazionali e internazionali.

In appendice è riportato una specifica trattazione del problema, ovvero un possibile modulo che tiene conto di un corretto approccio metrologico e che può essere eventualmente integrato, anche nella medesima forma, all'interno della scheda strumento.

ISTRUZIONI PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA STRUMENTO

INDICAZIONI GENERALI E STRUTTURA DELLA SCHEDA

La scheda strumento deve essere compilata per ciascuno strumento. Secondo il contesto di utilizzo e secondo la tipologia dello strumento alcuni parametri riportati nella scheda potrebbero risultare privi di significato. In questi casi si riporterà l'indicazione di "non applicabile" (N.A.);

Ogni modifica significativa dello strumento che possa comportare variazioni della sua risposta (ad es. riparazioni, esito negativo dei test di buon funzionamento o stabilità, etc.), o anche della metodologia di misura, comporterà l'aggiornamento della SCHEDA STRUMENTO.

Per strumento si intende l'insieme costituito dall'apparato elettronico di misura (lettore) e dal rivelatore (sonda) associato, indipendentemente se essi siano tra loro integrati in un unico corpo o non integrati (per es. sonde a innesto oppure collegate al lettore mediante cavi). Nel caso in cui sia possibile impiegare più sonde con lo stesso lettore, per ciascuna combinazione "lettore + sonda" deve essere compilata una SCHEDA STRUMENTO.

Nel seguito vengono riportate le definizioni delle voci della scheda strumento e ulteriori commenti o spiegazioni utili per la compilazione.

N° SCHEDA

Il numero della scheda identifica lo strumento.

TIPOLOGIA STRUMENTO

E' utile identificare la tipologia dello strumento. A tal fine si può anche utilizzare un sistema a codici, ad esempio:

PSA (Pluri Sonda Analogico):

strumento non integrato che può utilizzare più sonde, a **lettura analogica**.

PSD (Pluri Sonda Digitale):

strumento non integrato che può utilizzare più sonde, a **lettura digitale**.

USA (Unica Sonda Analogico):

strumento con un'unica sonda integrata con l'apparato di misura, a **lettura analogica**.

USD (Unica Sonda Digitale):

strumento con un'unica sonda integrata con l'apparato di misura, a **lettura digitale**.

Grandezza misurata e unità di misura: per lo scopo di questo documento la grandezza misurata può essere l'equivalente di dose ambiente, $H^*(10)$, o il suo rateo, $\dot{H}^*(10)$, indipendentemente dalla unità di misura in cui è espressa la scala dello strumento. Le unità di misura in cui sono espressi $H^*(10)$ e $\dot{H}^*(10)$ sono rispettivamente μSv e $\mu\text{Sv s}^{-1}$ (o i loro multipli e sottomultipli).

1. SEZIONE ANAGRAFICA

Riportare in questa sezione i dati che identificano univocamente lo strumento.

Per gli strumenti integrati i dati debbono essere riportati soltanto nella prima colonna, mentre per quelli non integrati (codici PSA e PSD) nella prima colonna debbono essere riportati i dati relativi al lettore e nella seconda colonna quelli relativi alla specifica sonda utilizzata.

Nel caso non fosse leggibile il numero di matricola assegnato dal costruttore, nello spazio “N° matricola/serie strumento” riportare il numero di inventario dell'utilizzatore che dovrà risultare anche da un'etichetta apposta sullo stesso.

2 CARATTERISTICHE TECNICHE

Riportare in questa sezione le caratteristiche tecniche indicate dal costruttore nel manuale operativo dello strumento:

Tipo di rivelatore: riportare il tipo di rivelatore inserito nello strumento o nella sonda (es. contatori GM, contatore GM compensato, scintillatore, contatore proporzionale, camera a ionizzazione, rivelatore a stato solido).

Grandezza misurata e unità di misura in cui è espressa la scala del lettore: riportare la grandezza e l'unità di misura in cui è effettivamente espressa la scala del lettore associato allo strumento

Intervallo di energia: riportare l'intervallo di energia della radiazione nel quale può essere impiegato lo strumento, come da manuale fornito dal costruttore oppure da certificato di taratura.

Campo di misura in modalità rateo e in modalità integrazione: riportare l'intervallo di misura dello strumento rispettivamente nella modalità rateo e nella modalità integrazione, come da manuale fornito dal costruttore oppure da certificato di taratura.

Condizioni ambientali previste di impiego dello strumento: è utile indicare in questo campo se si prevede di impiegare lo strumento in condizioni non normali di temperatura e pressione o se, viceversa, è prevedibile un impiego abituale in condizioni prossime alle “condizioni normali”.

L'indicazione consentirà, eventualmente, di non ripetere in ogni successivo rapporto di misura la precisazione della necessità o non necessità di applicare alle misure le correzioni per pressione e temperatura.

3. MODALITÀ DI VERIFICA PERIODICA DELLE CONDIZIONI DI BUON FUNZIONAMENTO

3 A - Verifiche periodiche della stabilità della risposta e della funzionalità (ISO 9001 (2000) Par 7.6)

Descrizione del Metodo e/o procedura operativa: descrivere brevemente il metodo utilizzato, che sarà applicato immediatamente dopo ogni taratura e ripetuto periodicamente, per verificare la funzionalità e la stabilità dello strumento mediante l'impiego di una sorgente di controllo o di materiali di riferimento, con tutte le informazioni di pertinenza che il radioprotezionista riterrà opportuno riportare, compresi i criteri decisionali e i valori massimi delle variazioni che sono ritenuti accettabili.

Se il metodo di misura è descritto nelle procedure di qualità è sufficiente riportare il riferimento.

Il **valore della variazione massima delle lettura ritenuta accettabile** (stabilito dall'esperto qualificato) indica quello al di sopra del quale si è stabilito preventivamente che lo strumento non è nello stato di buon funzionamento, e che, conseguentemente, i valori ottenuti dalle letture effettuate non possono essere considerati affidabili. In questi casi, l'impiego dell'apparecchio sarà sospeso e si procederà a manutenzione o sostituzione.

Risultati delle verifiche periodiche di stabilità della risposta e della funzionalità

I valori percentuali delle variazioni delle letture effettuate nelle prove, riportate in questa parte 3A della scheda, permettono di evidenziare le registrazioni delle verifiche effettuate tra due successive tarature, dimostrando la stabilità e il buon funzionamento dello strumento (ISO 9001 (2000) Par 7.6)

I suddetti valori non possono essere utilizzati:

- per applicare una correzione al coefficiente di taratura riportato nel certificato;
- per rinviare la data prevista della taratura periodica dello strumento.

Con riferimento ai richiami riportati in tabella:

- (1) Riportare nella prima riga della prima colonna la data del primo controllo periodico effettuato subito dopo la taratura dello strumento e nelle altre caselle le date delle verifiche periodiche successive.
- (2) Riportare nella prima riga di questa colonna il valore medio delle letture ottenute nel primo controllo verifica: tale valore rappresenterà il valore di riferimento iniziale, $\bar{L}_0$ per le successive verifiche. Riportare nelle altre caselle della stessa colonna i valori medi $\bar{L}_i$ ottenuti nelle verifiche successive.
- (3) Riportare il valore della variazione percentuale tra il valore medio $\bar{L}_i$ ottenuto nella i-esima verifica e il valore di riferimento $\bar{L}_0$.

3.B - Modalità di verifica dello stato di pronto alla misura

Descrivere brevemente il metodo utilizzato per la verifica dello stato di pronto alla misura, facendo riferimento ai controlli indicati dal manuale d'uso dello strumento, indicare quelli eventualmente introdotti in aggiunta e riportare anche eventuali metodi empirici applicati per la validazione del risultato in termini di riproducibilità: in particolare, descrivere come viene espresso l'esito del controllo di buon funzionamento. Questo controllo deve essere eseguito prima di ogni sessione di misura.

Se il metodo di verifica è descritto nelle procedure di qualità è sufficiente riportare il riferimento.

3 C - Verifica della stabilità del coefficiente di taratura nelle tarature periodiche dello strumento

Lo strumento deve essere periodicamente tarato; la frequenza consigliata è non superiore ai 3 anni (norma ISO 4037 parte 3 par. 4.2.1) e in seguito a ogni taratura dovrà essere aggiornata la relativa sezione della scheda.

Il campo di taratura deve essere scelto sulla base delle modalità in cui si prevede che lo strumento venga utilizzato.

Nei casi in cui sia necessario utilizzare lo strumento in situazioni diverse da quelle nelle quali è stata effettuata la taratura, comunque nel campo delle prestazioni previste dal fabbricante, è possibile procedere alla misura utilizzando, ove applicabile, un metodo di interpolazione che tenga conto di quanto indicato nel manuale.

Per quanto concerne le tarature Interne, le modalità per ottenere risultati affidabili e riferibili effettuando tarature interne sono stati già in precedenza descritti.

Il valore della variazione massima del coefficiente di taratura ritenuta accettabile (stabilito dall'esperto qualificato) è il valore massimo al di sopra del quale si è stabilito preventivamente che lo strumento non è nello stato di buon funzionamento.

In questo caso, l'impiego dell'apparecchio sarà sospeso e si procederà a manutenzione o sostituzione.

Si chiede di riportare le seguenti informazioni:

Laboratorio certificante: riportare la denominazione del laboratorio accreditato che ha effettuato la taratura. Per strumenti tarati mediante procedura interna riportare la dicitura "taratura interna" e/ o il riferimento al certificato.

Qualità della radiazione: indicare la qualità della/delle radiazioni con cui è stato tarato lo strumento, **ovvero quale fascio di radiazione è stato impiegato tra quelli codificati nella norma ISO 4037-3**. Nel caso in cui la taratura sia stata effettuata su più energie, è comunque ritenuto sufficiente scegliere una singola energia per monitorare le prestazioni dello strumento.

Coefficiente di taratura: riportare il valore del coefficiente di taratura in termini della grandezza equivalente di dose ambiente, $H^*(10)$. La corrispondente unità di misura deve essere riportata nella intestazione di colonna.

Incertezza estesa: riportare il valore specificato nel certificato di taratura.

Con riferimento ai richiami riportati in tabella:

(4) Valore della variazione massima del coefficiente di taratura ritenuta accettabile:

Riportare il valore della variazione percentuale tra il valore N_i del coefficiente di taratura dell'i-mo certificato e il valore del coefficiente di taratura di riferimento N_0 ottenuto dal primo certificato. Sarà compilato dalla seconda taratura.

GLOSSARIO ASSOCIATO ALLA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA STRUMENTO

N	Termine	Definizione (*)	Note
1	Accuratezza di misura	Grado di concordanza tra il <i>risultato</i> di una <i>misurazione</i> e un <i>valore vero</i> del <i>misurando</i> Nota 1 “accuratezza” è un concetto qualitativo. Nota 2 Il termine “precisione” non deve essere usato per “accuratezza”.	[5]
2	Campione di riferimento; Campione di misura di riferimento	Campione di misura dedicato alla taratura di altri campioni di misura di grandezza di un dato tipo, in una determinata organizzazione o in un determinato luogo.	[6]
3	Catena di riferibilità metrologica; catena di riferibilità	Sequenza di campioni di misura e tarature utilizzata per correlare un risultato di misura a un riferimento. Nota 1 una catena di riferibilità metrologica è definita mediante una gerarchia di tarature Nota 2 Una catena di riferibilità metrologica è impiegata per stabilire la riferibilità metrologica di un risultato di misura.	[6]
4	Coefficiente di taratura	Fattore che converte l’indicazione dello strumento, corretta per le condizioni di riferimento specificate per la taratura, nel valore convenzionalmente vero della grandezza misurata.	[7]
5	Conferma metrologica	Insieme delle operazioni richieste per assicurare che una funzione di un apparecchio per misurazione sia in stato di conformità ai requisiti per l’utilizzazione richiesta. UNI EN 30012/1	[5]
6	Conservazione di un campione di misura	Insieme di operazioni necessarie a conservare le proprietà metrologiche di un campione di misura entro limiti stabiliti Nota Di regola la conservazione comprende la verifica periodica delle proprietà metrologiche predefinite o la taratura, il mantenimento in adeguate condizioni e l’adozione di specifiche attenzioni al momento dell’uso.	[6]
7	Correzione condizioni ambientali	Fattore correttivo per temperatura e pressione dato dalla formula ¹ : $k_{T,P} = \frac{273,2 + T}{273,2 + T_0} \times \frac{p_0}{p}$ Dove t_0 e p_0 sono i valori di temperatura e pressione in condizioni di riferimento.	

¹ Per la temperatura si intenda l’espressione del Sistema Internazionale T [°C]

8	Fattore di copertura	Fattore numerico utilizzato come moltiplicatore dell'incertezza tipo composta per ottenere un'incertezza estesa a un intervallo di confidenza specificato.	[5]
9	Gradi di libertà effettivi	Numero di gradi di libertà attribuibili alla stima effettuata e ottenuto mediante una appropriata combinazione dei gradi di libertà associati ai diversi contributi di incertezza.	[5]
10	Incetezza di misura	Parametro non negativo che caratterizza la dispersione dei <i>valori della grandezza</i> che sono attribuiti a un <i>misurando</i> , sulla base delle informazioni utilizzate.	[6]
11	Incetezza estesa	Grandezza che definisce, intorno al risultato di una misurazione, un intervallo che ci si aspetta comprendere una frazione rilevante della distribuzione di valori ragionevolmente attribuibili al <i>misurando</i> (intervallo di confidenza).	[5]
12	Incetezza tipo	Incetezza dei risultati di una misurazione espressa come <i>scarto tipo</i> .	[5]
13	Incetezza tipo composta	Incetezza tipo del risultato di una misurazione allorché il risultato è ottenuto mediante i valori di un certo numero di altre grandezze; essa è uguale alla radice quadrata positiva di una somma di termini che sono le varianze o le covarianze di quelle grandezze, pesate secondo la variazione del risultato della misurazione al variare di esse.	[5]
14	Intervallo di confidenza	Intervallo entro il quale si stima che il valore del <i>misurando</i> possa trovarsi con una probabilità p dichiarata.	[5]
15	Laboratorio accreditato	Laboratorio la cui competenza a svolgere la funzione specifica (taratura di strumenti di misura) è attestata formalmente da un organismo di accreditamento riconosciuto a livello nazionale (SIT) e internazionale (EA e ILAC).	[7]
16	Media aritmetica	Somma dei valori divisa per il loro numero.	[5]
17	Metodo di misurazione	Sequenza logica di operazioni, descritte in termini generali, usate per effettuare una misurazione. Nota: il metodo di misurazione può essere qualificato in diversi modi come: metodo di sostituzione, metodo differenziale, metodo di zero.	[5]
18	Misurando	Grandezza in senso determinato sottoposta a <i>misurazione</i> .	[5]
19	Misurazione	Insieme di operazioni che ha lo scopo di determinare un valore di una grandezza. Nota: tali operazioni possono essere effettuate automaticamente.	[5]
20	Modalità "impulso" (pulse mode)	Modalità operativa di uno strumento in cui la risposta è costituita da singoli impulsi elettrici generati in corrispondenza di ciascun evento di interazione della radiazione con il rivelatore.	

21	Ripetibilità (dei risultati di misurazioni)	Grado di concordanza tra i risultati di misurazioni successive dello stesso misurando effettuate nelle stesse condizioni di misura ²	[5]
22	Risultato di una misurazione	Valore attribuito a un <i>misurando</i> ottenuto mediante <i>misurazione</i> . Nota 1: quando si dà un risultato, occorre chiarire se ci si riferisce alla indicazione, al risultato bruto, al risultato corretto e se è stata effettuata una media tra diversi valori.	[5]
23	Scarto tipo sperimentale	Il parametro $s(q_k)$ che per una serie di n misurazioni dello stesso misurando caratterizza dispersioni dei risultati ed è dato dalla formula: $s(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n-1}}$ dove q_k è il risultato della k -ma misurazione e $\bar{q}$ è la media aritmetica degli n risultati considerati. Nota L'espressione $s(q_k) / \bar{n}$ è una stima dello scarto tipo della distribuzione di $\bar{q}$ ed è detta <i>scarto tipo sperimentale della media</i> .	[5]
24	Strumento di misura	Dispositivo destinato a essere utilizzato per effettuare misure, da solo o associato a uno o più dispositivi supplementari.	[5]
25	Taratura	operazione eseguita in condizioni specificate, la quale in una prima fase stabilisce una relazione tra i valori della grandezza, con le rispettive incertezze di misura, forniti da campioni di misura, e le corrispondenti indicazioni, comprensive delle incertezze di misura associate, e in una seconda fase utilizza queste informazioni per stabilire una relazione che consente di ottenere un risultato di misura a partire da una identificazione	[6]
26	Validazione Convalida;	verifica nella quale i requisiti specificati sono adeguati per un'intenzione d'uso	[6]
27	Valore vero (di una grandezza)	Valore compatibile con la definizione di una data grandezza in senso determinato ³ .	[5]

² Queste condizioni sono denominate condizioni di ripetibilità. Le condizioni di ripetibilità comprendono:

- lo stesso procedimento di misurazione
- lo stesso osservatore
- lo stesso strumento di misura utilizzato nelle stesse condizioni
- lo stesso luogo
- ripetizione in un breve periodo di tempo

La ripetibilità può essere espressa quantitativamente in termini delle caratteristiche di dispersione dei risultati

NOTE ESTRATTE DALLA DOCUMENTAZIONE INTERNAZIONALE

Di seguito viene riportato un estratto delle note internazionali utilizzate dal gruppo di lavoro per elaborare i contenuti del presente documento.

ISO 9001 (2000) - Sistemi di gestione per la qualità – Requisiti

(Par 7.6) ...Tenuta sotto controllo dei dispositivi di monitoraggio e di misurazione

.....dove sia necessario assicurare risultati validi, le apparecchiature di misurazione devono essere:

- **tarate** o **verificate** a intervalli specificati o prima della loro utilizzazione, a fronte di **campioni riferibili** a campioni internazionali o nazionali; qualora tali campioni non esistano, devono essere registrati i criteri adottati per la taratura o la verifica;
- **regolate** o regolate di nuovo, quando necessario;
- **identificate** per consentire di conoscere il loro stato di taratura;
- **protette contro regolazioni** che potrebbero invalidare i risultati delle misurazioni;
- **protette da danneggiamenti** e deterioramenti durante la movimentazione, la manutenzione l'immagazzinamento

...l'organizzazione deve **valutare** e **registrare** la **validità di precedenti risultati**

...qualora si rilevi che l'apparecchiatura **non è conforme ai requisiti** l'organizzazione deve adottare azioni appropriate

Le **registrazioni** dei risultati delle tarature e delle verifiche devono essere **conservate**..

VIM, International Vocabulary of Metrology, 2008 TARATURA:

Operazione eseguita in condizioni specificate, la quale

- *in una prima fase stabilisce una relazione tra i valori della grandezza, con le rispettive incertezze di misura fornite dai campioni di misura, e le corrispondenti letture, comprensive delle incertezze di misura associate,*
- *in una seconda fase, utilizza queste informazioni per stabilire una relazione che consente di ottenere un risultato di misura a partire da una lettura*

³ E' un valore che sarebbe ottenuto da una misurazione perfetta. I valori veri sono per natura indeterminati.: in connessione a "valore vero" si usa l'articolo indeterminativo "un" piuttosto che l'articolo determinativo "il" perché ci possono essere diversi valori compatibili con la definizione di una data grandezza in senso determinato.

NOTA 1 - Una taratura può essere espressa mediante una dichiarazione, una funzione di taratura, un diagramma di taratura, una curva di taratura, o una tabella di taratura. In alcuni casi essa può consistere in una correzione additiva o moltiplicativa, accompagnata dall'incertezza di misura associata.

NOTA 2 - La taratura non dovrebbe essere confusa con la regolazione del sistema di misura, che in alcuni settori è spesso chiamata erroneamente “auto-taratura”, e neppure con la verifica dello stato di taratura.

UNI EN ISO 10012-1 (2004) - Sistemi di gestione della misurazione – Requisiti per i processi e le apparecchiature di misurazione

- ***L'apparecchio per misurazioni*** deve avere **le caratteristiche metrologiche** richieste **in funzione all'uso previsto**.
- ***Le caratteristiche metrologiche*** sono *requisiti specifici come accuratezza, stabilità, campo di misura, risoluzione, etc. (informazioni contenute nella documentazione del fabbricante, nei regolamenti, etc. Quando sono inadeguate i requisiti dovrebbero essere stabiliti dal fornitore stesso cioè colui che fornisce la misurazione).*
- ***L'insieme delle caratteristiche metrologiche di un apparecchio per misurazioni*** costituisce un elemento essenziale del **sistema di conferma**.
- ***Una lista delle caratteristiche*** richieste debbono essere incluse **nelle procedure** del fornitore o specificate **in un documento**
- ***L'apparecchio e la documentazione*** devono essere mantenuti in modo da tener conto **di tutte le correzioni, le condizioni di utilizzazione** (ivi comprese le condizioni ambientali), etc, necessarie per ottenere l'accuratezza richiesta.

NOTA 5 - La **riferibilità metrologica** di un *risultato di misura* non garantisce che l'incertezza di misura sia adeguata per un determinato scopo e neppure che nel corso della misurazione non si siano verificati sbagli.

NOTA 7 - L'ILAC (ILAC P-10:2002) ritiene che gli elementi necessari per la **conferma della riferibilità metrologica** sono:

una ininterrotta catena di riferibilità metrologica a un campione di misura nazionale o internazionale,

una incertezza di misura documentata,

una procedura di misura documentata,

la competenza tecnica accreditata,

la riferibilità metrologica al SI ,

una dichiarazione degli intervalli di taratura

BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI

- [1] ICRP Publication 60 - *Recommendations of the ICRP*, Annals of the ICRP (1990);
- [2] ICRU Report 47 (1992) - *Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiation*;
- [3] UNI EN ISO 10012-1:2004 - Sistemi di gestione della misurazione – Requisiti per i processi e le apparecchiature di misurazione
- [4] Servizio di taratura in Italia, GUIDA E REQUISITI SPECIFICI PER LA STESURA DELLE PROCEDURE TECNICHE
- [5] UNI CEI ENV 13005 (2000) - Guida all'espressione dell'incertezza di misura;
- [6] UNI CEI 70099:2008 Vocabolario Internazionale di Metrologia - Concetti fondamentali e generali e termini correlati (VIM);
- [7] DOCUMENTI SIT (Servizio di Taratura in Italia) Documento n. 517 - Termini e Definizioni;
- [8] Reports Series No. 16, IAEA (2000) - *Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments*;
- [9] ICRU Report 57 (1998) - *Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation*;
- [10] UNI EN ISO-9001:2000 - Sistemi di gestione per la qualità – Requisiti
- [11] NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements) - Report 147 "Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities"
- [12] ICRU (International Commission on Radiation Units & Measurements) - Report 76 "Measurement Quality Assurance for Ionizing Radiation Dosimetry" .
- [13] ISO 4037-3:1999 X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy -- Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence Edition: 1
- [14] ISO 4037-4:2004 X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy -- Part 4: Calibration of area and personal dosimeters in low energy X reference radiation fields Edition: 1 |

APPENDICE

Le seguenti sezioni sono opzionali per ciò che attiene la loro veste formale, ma, come esplicitato in precedenza, è comunque necessario che l'incertezza di misura, ovvero la sua correlazione allo strumento utilizzato, sia opportunamente valutata dall'operatore radioprotezionista, tenendo anche opportunamente conto delle indicazioni contenute nelle norme di buona tecnica nazionali e internazionali.

n. scheda _____	SCHEDA STRUMENTO				Eventuale pag. 4 di 5
4. A Valutazione preventiva dell'incertezza associata al risultato delle misurazioni sulla base dei dati disponibili (certificato di taratura n°.....(5), manuale strumento)					
4.A	Valutazione preventiva dell'incertezza tipo composta nella modalità integrazione				
Parametro (i)	Incertezza di misura $\Delta x(i)$ [%]	Categoria, distribuzione di probabilità, intervallo di confidenza	Divisore $c(i)$	Incertezza tipo [%] $u(i) = \frac{\Delta x(i)}{c(i)}$	$[u(i)]^2$ l.f.=68%
Coefficiente di taratura N ⁽⁶⁾		B, normale, 68%	1		
Lecture ⁽⁷⁾		A, normale, 68%	1		
Dipendenza della risposta dello strumento all'energia della radiazione nell'intervallo: (..... keV ÷ MeV) ^{(8) (9)}		B, rettangolare, 100%	1,73		
Dipendenza della risposta dello strumento dall'angolo di incidenza della radiazione (tra 0 - 90°) ⁽¹⁰⁾		B, rettangolare, 100%	1,73		
Condizioni ambientali (di temperatura, pressione e umidità) ⁽¹¹⁾		B, rettangolare, 100%	1,73		
Linearità della scala ⁽¹²⁾		B, rettangolare, 100%	1,73		
Allineamento delle scale alla scala di riferimento ⁽¹³⁾		B, rettangolare, 100%	1,73		
Incertezza tipo composta (per letture in modalità integrazione) [%], $u_I = \sqrt{\sum_i u(i)^2}$ ⁽¹⁴⁾					

n. scheda _____	SCHEMA STRUMENTO				Eventuale pag. 5 di 5
4.B	Valutazione preventiva dell'incertezza tipo composta nella modalit� rateo				
Parametro (i)	Inc�tezza di misura $\Delta x(i)$ [%]	Categoria, distribuzione di probabilit�, intervallo di confidenza	Divisore c(i)	Inc�tezza tipo $u(i) = \frac{\Delta x(i)}{c(i)}$ [%]	$[u(i)]^2$ l.f.=68%
Coefficiente di taratura N ⁽⁶⁾		B, normale, 68%	1		
Letture ⁽⁷⁾		A, normale, 68%	1		
Dipendenza della risposta dello strumento dall'energia della radiazione nell'intervallo: (..... keV � MeV) ^{(8) (9)}		B, rettangolare, 100%	1,73		
Dipendenza della risposta dello strumento dall'angolo di incidenza della radiazione (tra 0 - 90�) ⁽¹⁰⁾		B, rettangolare, 100%	1,73		
Condizioni ambientali (di temperatura, pressione e umidit�) ⁽¹¹⁾		B, rettangolare, 100%	1,73		
Linearit� della scala ⁽¹²⁾		B, rettangolare, 100%	1,73		
Allineamento delle scale alla scala di riferimento ⁽¹³⁾		B, rettangolare, 100%	1,73		
Inc�tezza tipo composta [%](per letture in modalit� rateo), $u_R = \sqrt{\sum_i u(i)^2}$ ⁽¹⁴⁾					

4.C	Valutazione preventiva dell'incertezza estesa (l.f. � 95%)	
Intervallo di confidenza dell'incertezza estesa (valore approssimato)		95 %
Fattore di copertura k ⁽¹⁵⁾		
Inc�tezza estesa ($U_R = k \cdot u_R$) [%] (per letture in modalit� rateo)		
Inc�tezza estesa ($U_I = k \cdot u_I$) [%] (per letture in modalit� integrazione)		

ISTRUZIONI

VALUTAZIONE PREVENTIVA DELL'INCERTEZZA ASSOCIATA AL RISULTATO DELLE MISURAZIONI, SULLA BASE DEI DATI DISPONIBILI (CERTIFICATO DI TARATURA MANUALE STRUMENTO)

Nelle sezioni di cui trattasi sono riportati i dati utilizzati per la valutazione dell'incertezza associata al risultato della misurazione sulla base del metodo raccomandato in [5].

NOTA - Il metodo di valutazione dell'incertezza di misura prevede in sintesi i seguenti passi [5]:

- a. individuare tutte le componenti di incertezza Δx_i che concorrono all'incertezza finale associata al risultato della misurazione;
- b. associare a ciascuna componente di incertezza Δx_i una distribuzione di probabilità effettiva o stimata (normale, rettangolare, ecc.) e un intervallo di confidenza, (68%, 100%, ecc.)
- c. calcolare l'incertezza tipo $u(i)$ (intervallo di confidenza $\approx 68\%$) associata a ciascuna componente di incertezza Δx_i ;
- d. calcolare l'incertezza tipo composta u (intervallo di confidenza $\approx 68\%$) associata al risultato della misurazione;
- e. calcolare l'incertezza estesa U (intervallo di confidenza $\approx 95\%$) associata al risultato della misurazione;

In ciascuna delle sezioni seguenti vengono riportati i valori tipici dei vari parametri applicabili nelle normali condizioni d'uso dello strumento, desunti dal certificato di taratura o dal manuale d'uso associati allo strumento.

Questa stima preventiva dei valori delle incertezze estese facilita l'operatore nella fase relativa alle misurazioni "in campo" con lo strumento, in quanto tutti i parametri caratteristici sono dettagliatamente riportati. Tale stima è valida e può essere applicata a condizione che i valori dei diversi parametri considerati non siano significativamente variati. L'esperto qualificato dovrà valutare, sulla base della propria esperienza e dei dati disponibili, se i suddetti valori tipici sono applicabili o meno alle condizioni operative con cui effettua la misurazione, come pure la necessità o meno di modificare o aggiungere alcuni parametri. Diversamente, dovrà essere rivalutata l'incertezza estesa associata alle misure ottenibili inserendo i nuovi valori nelle tabelle.

Con riferimento ai richiami riportati in tabella:

- (5) *Riportare il numero identificativo del certificato di taratura da cui sono stati desunti i valori riportati in tabella.*
- (6) *Riportare il valore dell'incertezza tipo composta indicata nel certificato di taratura.*

A valutazione preventiva dell'incertezza tipo composta nella modalità integrazione

Per ciascuno dei parametri specificati in tabella e con riferimento alla **modalità di misura integrazione**:

- alla colonna 2 riportare l'indicatore della variabilità dei dati (scarto tipo nel caso di una distribuzione gaussiana, semi-intervallo per una distribuzione rettangolare);
- alla colonna 3 è riportata distribuzione di probabilità (normale o rettangolare) tipica per il parametro in esame;
- in colonna 4 è indicato il numero $c(i)$ per il quale (nell'ipotesi della distribuzione di probabilità specificata) è necessario dividere il valore in colonna 2 per ottenere il valore di incertezza stimato a un livello di confidenza approssimativo del 68 %, denominata incertezza tipo $u(i)$;
- in colonna 5 riportare il valore dell'incertezza tipo $u(i)$ così calcolata.

NOTA –Se si modifica la distribuzione di probabilità di un parametro deve essere modificato opportunamente anche il valore $c(i)$ riportato nella colonna 4, caratteristico della distribuzione di probabilità.

L'incertezza tipo composta u viene determinata combinando quadraticamente i valori delle singole componenti di incertezza tipo $u(i)$ riportati nella Tabella.

Con riferimento ai richiami riportati in tabella:

- (7) Riportare il valore dell'incertezza tipo composta indicata nel certificato di taratura.
- (8) Riportare il valore massimo dello scarto tipo ottenuto con lo strumento per una serie di misure in condizioni analoghe a quelle di misura. Il dato può essere desunto dal certificato di taratura o da misure effettuate direttamente dall'EQ.
Nei casi in cui non sia possibile stimare un valor medio con associato uno scarto tipo, ma soltanto l'ampiezza massima dell'intervallo entro cui variano le indicazioni dello strumento, si applica una distribuzione rettangolare di probabilità all'intervallo individuato.
- (9) Specificare l'intervallo di energia della radiazione entro cui è nota la variazione della risposta dello strumento
- (10) Riportare la semi-differenza tra i valori massimo e minimo del coefficiente di taratura, ottenuti in fase di taratura per l'intervallo di energia della radiazione specificata o, in alternativa, utilizzare i dati contenuti nel manuale dello strumento.
- (11) Utilizzare i dati contenuti nel manuale per identificare un intervallo massimo di variazione della risposta in funzione dell'angolo di incidenza e riportare tale valore diviso 2 (per quanto piccolo possa essere). In alternativa, riportare la semi-differenza tra il valore massimo e quello minimo del coefficiente di taratura, ottenuti in fase di taratura per direzione di incidenza della radiazione a 90° e 0° .
- (12) Il coefficiente riportato nel certificato di taratura è determinato in condizioni ambientali di riferimento (generalmente: $T = 293,15 \text{ }^\circ\text{K}$; $P = 101,13 \text{ kPa}$ e $U = 50\%$). Nella fase di misurazione "in campo", le condizioni ambientali possono variare anche notevolmente. Per tenere conto di tale variazione in modo semplificato si può assumere un coefficiente correttivo $k_{T,P} = 1$ con una variazione massima del 10%. Se le misurazioni vengono effettuate in condizioni ambientali estreme ($T < 0^\circ \text{ C}$ o $T > 40^\circ \text{ C}$) o ad altitudini significative il

coefficiente correttivo, in questi casi significativo, dovrà essere inserito nel calcolo dell'incertezza tipo composta (per comodità, si richiama la formula:

$$k_{t,p} = \frac{273,2 + T}{273,2 + T_0} \times \frac{p_0}{p}$$

dove $k_{t,p}$ è il coefficiente di correzione; t_0 e p_0 sono i valori di temperatura e pressione in condizioni di riferimento, t e p sono le condizioni ambientali in cui si effettua la misura.

(13) Se nel certificato di taratura è indicato questo valore, riportarlo.

(14) Riportare la differenza tra i valori letti nelle diverse scale, deducendoli dal certificato di taratura, quando lo stesso li riporti.

(15) Valore dell'incertezza tipo composta nella modalità rateo, nella quale non deve essere considerato il valore dell'incertezza attribuita allo strumento nelle modalità di lettura in integrazione.

(16) Valore dell'incertezza tipo composta nella modalità integrazione, nella quale non deve essere considerato il valore dell'incertezza attribuita allo strumento nelle modalità di lettura rateo.

B valutazione preventiva dell'incertezza tipo composta nella modalità rateo

In questa sezione si applica quanto già scritto per la sezione 3.D-1, ma con riferimento alla **modalità di misura rateo**.

C. valutazione preventiva dell'incertezza estesa

In questa sezione, vengono espressi i valori dell'*incertezza estesa* U_R e U_I nelle due modalità di lettura in rateo e integrazione, rispettivamente.

Incertezza estesa (l.f.=95%) (per letture in modalità rateo) : Riportare il valore dell'incertezza estesa nelle modalità di lettura in rateo.

Incertezza estesa (l.f.=95%) (per letture in modalità integrazione): Riportare il valore dell'incertezza estesa nelle modalità di lettura in integrazione.