



*aifm*  
**docs**



Valutazione dose equivalente al cristallino



aiFM  
docs



---

Valutazione dose equivalente al cristallino

Publicato: luglio 2020

codice ISBN: 979-12-80175-00-7

## Valutazione dose equivalente al cristallino

### INTRODUZIONE: IL COLLEGIO DI RADIOPROTEZIONE IN AMBITO SANITARIO

Il Collegio di Radioprotezione in Ambito Sanitario (CRPS) è l'organo di riferimento per le problematiche inerenti la radioprotezione dei lavoratori e della popolazione in ambito sanitario e in particolare modo vuole essere un riferimento specifico per tutti i soci e che si occupano di sorveglianza fisica in ambito sanitario.

Sono compiti del CRPS:

- Produrre documenti di carattere tecnico scientifico inerenti la radioprotezione dei lavoratori e della popolazione in ambito sanitario
- Predisporre, in collaborazione con il Comitato Scientifico, sia la Scuola di Radioprotezione sia la formazione specifica per gli esperti di radioprotezione così come richiesto dalla normativa vigente.

Il CRPS è composto da due articolazioni con funzioni differenziate: il Gruppo tecnico-scientifico e la Consulta.

Il Gruppo tecnico-scientifico ha il mandato di produrre i documenti tecnico-scientifici.

La Consulta ha il compito di coordinare le attività del CRPS con quelle del Consiglio Direttivo, del Comitato Scientifico, della Commissione Affari Professionali e Rapporti Istituzionali. Spetta alla Consulta la revisione dei documenti prodotti dal Gruppo tecnico-scientifico negli ambiti di specifica competenza.

Ogni documento del CRPS è approvato e emesso dal Consiglio Direttivo di AIFM.

### SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di proporre approcci metodologici da impiegarsi:

- 1) per la valutazione dei tipici campi di radiazione legati all'impiego di apparecchiature RX in ambito sanitario;
- 2) per classificare le zone ai fini della radioprotezione;
- 3) per effettuare una stima preventiva del rischio funzionale alla classificazione di radioprotezione e provvedere quando necessario al suo aggiornamento;
- 4) per effettuare la valutazione delle dosi individuali a partire dai dati derivanti dalla sorveglianza dosimetrica individuale.

Non è scopo di questo documento fornire indicazione in merito ai criteri da utilizzarsi per la classificazione di radioprotezione.

## AUTORI

### COORDINATORE DEL GRUPPO DI LAVORO

CATERINA GHETTI

### REVISIONE

FABRIZIO BANCİ BUONAMICI, STEFANO DE CRESCENZO, ANDREA GUASTI

### IL COLLEGIO DI RADIOPROTEZIONE IN AMBITO SANITARIO

#### CONSULTA

PAST PRESIDENT AIFM  
(LUISA BEGNOZZI)

VICE PRESIDENTE AIFM  
(VITTORIO CANNATÀ)

COORDINATORE CS SCUOLA  
CALDIROLA (CARLO CAVEDON)

COORDINATORE APRI  
(DANILO ARAGNO)

PRESIDENTE CONDIR  
(FRANCO FUSI)

COORDINATORE DEL COLLEGIO  
(FABRIZIO BANCİ BUONAMICI)

PAST COORDINATOR DELLA  
COMMISSIONE RADIOPROTEZIONE  
(ALDO VALENTINI)

#### GRUPPO TECNICO SCIENTIFICO

ANTONELLA ANOJA  
STEFANO DE CRESCENZO  
FEDERICA FIORONI  
LUCA INDOVINA  
LUIGI SPIAZZI

FABRIZIO BANCİ BUONAMICI  
VITTORIO DIDONNA  
CATERINA GHETTI  
ROBERTO PANI  
ANNALISA TRIANNI

ANGELA CONIGLIO  
PIERLUIGI D'ANDRIA  
ANDREA GUASTI  
NANDO ROMEO

### SI RINGRAZIANO PER IL CONTRIBUTO FORNITO IN FASE DI REVISIONE

ACHILLE BERGANTIN  
MARCO GALELLI  
MICHELE MAZZIOTTA  
GIAN LUCA POLI

FABRIZIO BISI  
GABRIELE GUIDI  
LUCA NOCETTI  
SABINA STROCCHI

LOREDANA D'ERCOLE  
PIERGIORGIO MARINI  
FRANCESCA PIETROBON

## INDICE

<b>1. DEFINIZIONI</b> .....	4
1.1 LE GRANDEZZE RADIOPROTEZIONISTICHE DOSE EQUIVALENTE <i>HT</i> E DOSE EFFICACE <i>E</i> .....	4
1.2 LA GRANDEZZA OPERATIVA EQUIVALENTE DI DOSE PERSONALE HP .....	5
1.3 FATTORE DI TRASMISSIONE <i>B</i> , FATTORE DI ATTENUAZIONE <i>A</i> E FATTORE DI RIDUZIONE DELLA DOSE DRF .....	5
1.4 PRIMO OPERATORE IN UNA PROCEDURA DI RADIOLOGIA INTERVENTISTICA .....	5
<b>2. INTRODUZIONE</b> .....	6
<b>3. LAVORATORI COINVOLTI IN PROCEDURE DI RADIOLOGIA INTERVENTISTICA</b> ....	7
3.1 QUANDO EFFETTUARE LA VALUTAZIONE DELLA DOSE EQUIVALENTE AL CRISTALLINO .....	7
3.2 COSA MISURARE .....	8
3.3 COME MISURARE .....	8
3.4 QUANDO FORNIRE L'OCCHIALE SCHERMATO .....	9
3.5 COME TENER CONTO DELL'IMPIEGO DELL'OCCHIALE SCHERMATO NELLA VALUTAZIONE DELLA DOSE EQUIVALENTE AL CRISTALLINO .....	9
3.6 IMPIEGO DI METODICHE ALTERNATIVE AL DOSIMETRO .....	11
<b>4. LAVORATORI CHE OPERANO IN MEDICINA NUCLEARE</b> .....	11
<b>5. SOMMARIO DELLE RACCOMANDAZIONI</b> .....	12
5.1 QUANDO VALUTARE LA DOSE EQUIVALENTE ASSORBITA DAL CRISTALLINO .....	12
5.2 COME VALUTARE LA DOSE EQUIVALENTE ASSORBITA DAL CRISTALLINO .....	12
LAVORATORI CHE OPERANO IN MEDICINA NUCLEARE .....	13
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	14

## 1. Definizioni

Come noto, le grandezze radioprotezionistiche *dose efficace* e *dose equivalente* sono utilizzate per fissare limiti di esposizione al fine di assicurare che l'insorgenza di effetti stocastici sia tenuta al di sotto dei livelli giudicati inaccettabili e che siano evitate le reazioni tissutali; non essendo misurabili direttamente, la dose equivalente e la dose efficace vengono stimate a partire da opportune grandezze operative misurabili.

### 1.1 Le grandezze radioprotezionistiche Dose Equivalente $H_T$ e Dose Efficace $E$

La **Dose equivalente**  $H_T$  in un organo o in un tessuto T è la dose media assorbita in un tessuto o organo T, ponderata in base al tipo e alla qualità della radiazione; l'unità di dose equivalente è il Sievert ed è definita come

$$H_T = \sum_R W_R * D_{T,R}$$

dove:

- l'indice R è riferito al tipo e all'energia della radiazione; la sommatoria è da intendersi su tutti i tipi di radiazione (fotoni, elettroni, protoni, neutroni, etc) che compongono il campo radiante e, per ogni tipo, su tutte le energie presenti;
- $W_R$  è il fattore adimensionale di ponderazione della radiazione (che vale 1, a tutte le energie, per il tipo di radiazione maggiormente impiegata in ambito sanitario ovvero fotoni ed elettroni);
- $D_{T,R}$  è la Dose media assorbita nel volume dell'organo o tessuto T preso in considerazione.

La **Dose efficace**  $E$  è definita come la somma ponderata delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti

$$E = \sum_T W_T * H_T = \sum_T W_T \sum_T W_R * D_{T,R}$$

dove:

- l'indice T è riferito al tipo di organo o tessuto (la sommatoria è da intendersi su tutti gli organi e tessuti del corpo umano considerati sensibili all'induzione di effetti stocastici come riportati in ICRP 103 e nella stessa Direttiva Euratom 59/13);
- $W_T$  è il fattore adimensionale di ponderazione del tessuto per l'organo o tessuto T;
- $H_T$  è la Dose equivalente all'organo o tessuto T (come già definita).

## 1.2 La grandezza operativa Equivalente di dose personale $H_p$

La grandezza operativa per il monitoraggio individuale è l'**equivalente di dose personale  $H_p(d)$** , che è l'equivalente di dose nel tessuto molle interpretato comunemente come la sfera ICRU così come definita nei Report ICRU 39 e 51 ad un'appropriata profondità  $d$ , al di sotto di un punto specifico sulla superficie del corpo umano. Il punto specifico è in genere dato dalla posizione in cui si porta il dosimetro; per ciò che riguarda le profondità  $d$ , si trovano disponibili in commercio dosimetri tarati per  $d = 10$  mm,  $d = 3$  mm e  $d = 0.07$  mm.

## 1.3 Fattore di trasmissione $B$ , fattore di attenuazione $A$ e fattore di riduzione della dose $DRF$

Uno dei metodi di protezione dalle radiazioni ionizzanti è quello di interporre fra la sorgente ed il corpo umano (o parte di esso) un dispositivo di protezione (individuale, mobile o strutturale) di opportuno materiale e spessore  $x$ . Per semplicità, chiamiamo "barriera" uno qualsiasi dei dispositivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti.

Definiamo il fattore di trasmissione  $B$  di un fascio largo di raggi X attraverso la barriera di spessore  $x$  come il rapporto (dipendente da  $x$  e dallo spettro dei raggi X) del kerma  $K$  in aria in un punto con e senza barriera, ovvero

$$B(x) = \frac{K(x)}{K(x=0)}$$

A partire da  $B(x)$  possiamo definire il fattore di attenuazione  $A(x)$  come il suo complemento a 1 ovvero

$$A(x) = 1 - B(x)$$

In letteratura si trova anche il fattore di riduzione della dose ( $DRF$ ) definito come

$$DRF = \frac{1}{B(x)} = \frac{1}{1 - A(x)}$$

## 1.4 Primo operatore in una procedura di radiologia interventistica

La letteratura di settore suggerisce modalità diverse di valutazione della dose equivalente al cristallino anche in funzione della distanza dell'operatore dalla sorgente.

Nel presente documento, si definiscono:

- **primo operatore** di una procedura di radiologia interventistica i professionisti che, durante l'erogazione dei raggi X, si trovano con continuità ai bordi del lettino in prossimità del campo di radiazioni che intercetta il paziente;
- **altri operatori** l'insieme dei professionisti che non sono primi operatori.

## 2. Introduzione

La sensibilità del cristallino alle radiazioni ionizzanti ha suscitato particolare interesse sin dal 2012<sup>1</sup>, anno in cui la Commissione Internazionale di Protezione Radiologica (ICRP118) ha raccomandato, nella sua dichiarazione sulle reazioni tissutali, una riduzione del limite di dose equivalente al cristallino per l'esposizione professionale da 150 mSv/anno a 20 mSv/anno (mediato su un periodo di 5 anni col vincolo che la dose in un singolo anno non superi i 50 mSv).

Prima di questa raccomandazione il limite della dose equivalente al cristallino era ben al di sopra del limite per il corpo intero espresso in termini di dose efficace; per tale ragione, nel caso di radiazione a forte penetrazione, vi era consenso scientifico sul fatto che, sotto condizioni definite, attraverso le misure effettuate per valutare la dose efficace potesse essere garantito il rispetto del limite dosimetrico per il cristallino.

Il recepimento della raccomandazione ICRP118 [1] nel sistema regolatorio europeo (Direttiva 59/2013) introduce nuove questioni relative alle modalità da adottare per la garanzia del rispetto del limite di dose equivalente al cristallino; infatti una così drastica riduzione (per più di un fattore 7) ad un valore non distante dal limite per la popolazione (15 mSv/anno) suggerisce sia l'adozione di più efficaci misure di protezione rispetto al passato, sia metodi più accurati di valutazione dosimetrica.

L'ambito delle attività sanitarie è particolarmente interessato a questi cambiamenti, infatti gli operatori che eseguono procedure sotto guida fluoroscopica o che manipolano materie radioattive possono trovarsi particolarmente vicino al paziente o alla sorgente di radiazioni ionizzanti; più nello specifico, il recepimento della raccomandazione ICRP118 [1] ha maggiori conseguenze per gli operatori che sono esposti ad alte dosi di radiazioni, come nei casi della radiologia interventistica, della cardiologia interventistica, della chirurgia vascolare, dell'endoscopia, della terapia del dolore e della medicina nucleare.

La valutazione della dose equivalente al cristallino costituisce un problema da affrontare per assicurare il rispetto del limite dosimetrico; fattori cruciali che complicano la misura e la valutazione includono l'irraggiamento in campi non omogenei, la posizione dell'operatore rispetto alla sorgente di esposizione ed in particolare, nel caso del primo operatore, l'orientazione del capo, la tipologia e utilizzo o meno di dispositivi di protezione individuale, nonché la posizione dei dosimetri.

Operativamente, la verifica del rispetto del limite di dose equivalente può essere effettuata tramite misure con specifici dosimetri individuali tarati in  $H_p(3)$ ; stime derivate da dosimetri tarati in  $H_p(0.07)$  e/o  $H_p(10)$  risultano comunque adeguate in ambito radiologico [25].

---

<sup>1</sup> Da una ricerca effettuata su <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed> con la stringa "eye lens dosimetry" si osserva che il numero delle pubblicazioni successive allo statement dell'ICRP118 è notevolmente cresciuto (quinquennio 2007-2011 N. 126 pubblicazioni – quinquennio 2012-2016 N. 280 pubblicazioni)

Inoltre l'introduzione di più elevati standard di sicurezza comporta inevitabilmente costi più alti: l'essere consapevoli delle prestazioni delle sorgenti di radiazioni ionizzanti, delle dotazioni di dispositivi (ed eventualmente il loro uso) e delle modalità operative nel contesto di una determinata procedura medico-radiologica costituisce il presupposto per riuscire a individuare il personale che veramente necessita di un monitoraggio sistematico della dose equivalente al cristallino, in un contesto di interventi appropriati e ottimizzazione delle risorse da dedicare a questa attività.

Spetta pertanto all'esperto in radioprotezione, che conosce bene la struttura sanitaria, effettuare questa delicata valutazione che rientra nell'applicazione del principio di ottimizzazione e che certamente non può scaturire da improvvisazione.

### 3. Lavoratori coinvolti in procedure di radiologia interventistica

La valutazione della dose equivalente al cristallino presenta numerose difficoltà operative: può esserci da parte degli operatori una scarsa propensione all'impiego di un dosimetro dedicato e/o all'utilizzo dell'occhiale schermato ritenuto pesante, scomodo o comunque con un effetto negativo sulla visione. Inoltre fornire indistintamente a tutti gli operatori coinvolti in procedure fluoroscopiche di radiologia interventistica un dosimetro dedicato e assegnare ad essi un occhiale schermato non è solo logisticamente complicato ed economicamente oneroso ma soprattutto non appare giustificato.

#### 3.1 Quando effettuare la valutazione della dose equivalente al cristallino

È opportuno implementare un monitoraggio sistematico della dose equivalente al cristallino per gli operatori che siano coinvolti in procedure fluoroscopiche ad alta dose o comunque che siano suscettibili di superare un valore di dose equivalente di 10 mSv/anno, in modo da ricomprendere con grande margine di cautela tutti quei lavoratori che si potrebbero avvicinare al valore limite di 20 mSv/anno al cristallino. L'identificazione di tali soggetti può essere effettuata [25]:

- a partire da valori dosimetrici pregressi risultanti da dosimetri portati al di fuori del grembiule anti-X;
- dall'analisi dei tempi di esposizione oppure dei valori del prodotto kerma per area (KAP) ricavabili, ove possibile, dai verbali di camera operatoria spesso informatizzati o deducibili dai software di dose tracking e dalla valutazione dei campi di radiazione ai bordi del lettino;
- nel caso di nuove attività, dalle valutazioni preventive effettuate ai fini della stima del rischio e l'indicazione di classificazione: in tal caso le valutazioni dovranno comunque essere verificate alla luce delle valutazioni dosimetriche individuali in corso di esercizio dell'attività;
- a partire dalla conoscenza dell'output dell'apparecchiatura radiogena e della valutazione della componente diffusa.

### 3.2 Cosa misurare

Come già indicato, l'opzione ottimale, nei casi appropriati, risulta essere l'impiego di un dosimetro dedicato tarato in  $H_p(3)$ .

Laddove i dosimetri tarati in  $H_p(3)$  non siano disponibili, per esposizioni a raggi X nel range energetico impiegato nelle pratiche radiologiche ad alta dose, può considerarsi un'ipotesi percorribile anche l'impiego di dosimetri tarati in  $H_p(0.07)$  e  $H_p(10)$  [2]. La scelta di utilizzare il dato dosimetrico di  $H_p(10)$  ricavato da un dosimetro portato al di fuori del grembiule anti-X può risultare conveniente ove non fosse disponibile sullo stessa card dosimetrica un dosimetro tarato in  $H_p(0.07)$ , al fine di mantenere comunque la assegnazione di una sola card dosimetrica.

### 3.3 Come misurare

L'opzione ottimale risulta essere un dosimetro TLD posizionato sulla stanghetta dell'occhiale schermato e portato a sinistra dagli operatori che lavorano alla destra del paziente (supino) e viceversa a destra dagli operatori che lavorano alla sinistra del paziente [2,3]. Se la posizione del dosimetro sulla stanghetta dell'occhiale schermato non fosse praticabile è comunque possibile far indossare il dosimetro sulla fronte o sul cappellino, in ogni caso in una posizione prossima agli occhi del lavoratore.

Il campo di radiazioni che interessa il cristallino può inoltre essere valutato utilizzando la formula proposta da Martin [5], ovvero moltiplicando per 0.75 il valore della lettura del dosimetro tarato in  $H_p(10)$  o, se disponibile, in  $H_p(0.07)$ , posto sopra il camice a livello dell'emitorace sinistro (tenendo quindi in considerazione la riduzione in funzione della distanza torace – occhio).

È del tutto evidente la praticità di quest'ultima opzione: sia nel caso in cui per la valutazione della dose efficace al lavoratore sia fornito un solo dosimetro, sia nel caso in cui si utilizzi il doppio dosimetro, il dosimetro portato fuori dal grembiule anti-X potrà fornire le indicazioni necessarie sia per la valutazione della dose efficace che della dose equivalente al cristallino. Tale affermazione viene rafforzata dal fatto che le più recenti raccomandazioni internazionali [8] vanno nella direzione di una policy orientata all'impiego del dosimetro posizionato al di fuori del grembiule anti-X nel caso in cui la valutazione della dose efficace venga eseguita con un solo dosimetro: ovviamente la valutazione sarà tanto più affidabile quanto più si avrà la garanzia che il dosimetro sia portato con continuità al di fuori del grembiule anti X.

Si segnala che al fine di una valutazione più accurata della dose equivalente al cristallino è consigliabile indossare il dosimetro al corpo a livello del collare tiroideo portato dal lato del tubo radiologico ovvero tipicamente a sinistra [5, 8, 10, 17,18]. Il dosimetro deve necessariamente essere posizionato correttamente: molti studi hanno infatti dimostrato come l'impiego del dosimetro dal lato sbagliato (ad esempio quello opposto al tubo radiologico) possa portare a sottostime importanti della dose equivalente al cristallino [19]. In alcuni contesti operativi ove gli operatori indossino dei collari paratiroidi personalizzati, per praticità, tali collari possono essere dotati di un taschino esterno sul lato sinistro da utilizzare per alloggiare il dosimetro stesso.

### 3.4 Quando fornire l'occhiale schermato

Nonostante la notevole riduzione del limite di dose equivalente al cristallino, è probabile che un rischio reale di avvicinarsi al limite dei 20 mSv/anno interessi solo un numero limitato di primi operatori. Appare pertanto ragionevole riservare l'opzione di fornitura dell'occhiale schermato solo a questi ultimi. Non va dimenticato infatti che il limite per la dose equivalente al cristallino è legato alla soglia per il verificarsi di reazioni tissutali. Nella scelta del livello di riferimento da utilizzarsi ai fini della fornitura dell'occhiale schermato non va trascurato l'effetto che tale opzione può avere sulla classificazione dei lavoratori che, come noto, deve essere effettuata nell'ipotesi di impiego dei dispositivi di protezione.

### 3.5 Come tener conto dell'impiego dell'occhiale schermato nella valutazione della dose equivalente al cristallino

Per gli operatori che indossano gli occhiali schermati, per passare dalla valutazione del campo di radiazioni che interessa il cristallino alla dose equivalente, deve essere considerata l'attenuazione fornita dall'occhiale schermato.

L'attenuazione va valutata in condizioni operative, ovvero considerando che l'operatore può rivolgere lo sguardo sia verso il basso che verso l'alto, che può eventualmente indossare i propri occhiali graduati e sopra di essi gli occhiali schermati (modelli fit-over) o indossare un occhiale schermato già graduato.

In altre parole, nel valutare l'attenuazione dell'occhiale schermato più che il valore della schermatura nominale (tipicamente 0.75 mm Pb) occorre considerare la vestibilità del modello scelto, il livello di aderenza al volto, la geometria di irradiazione, la postura dell'operatore [27].

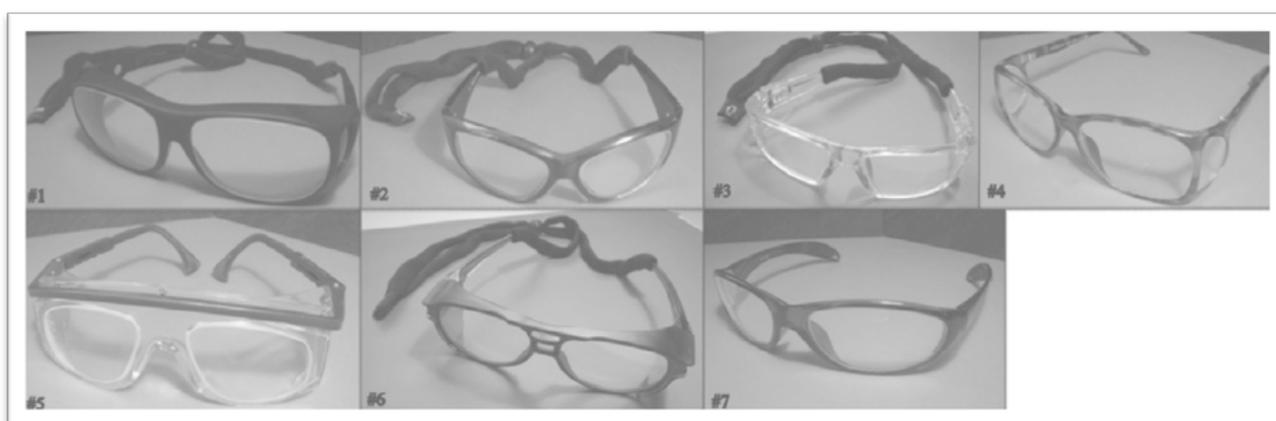


Figura 1- Esempi di differenti tipologie di occhiali schermati [6].

A scopo esemplificativo di seguito si riporta una tabella con valori di attenuazione tipici con il relativo riferimento bibliografico:

Fattore di attenuazione A(x) dell'occhiale schermato	Riferimento bibliografico
0.5-0.9	[2]
0.67-0.86	[6]
0.52	[7]
0.66-0.83	[8]
0.28-0.8	[9]
0.6-0.77	[10]
0.2-0.9	[11]
0.3-0.88	[12]
0.73-0.88	[26]
0.5	[27]
0.52-0.9	[28]

Si precisa però che, per le ragioni sopra esposte, non è possibile adottare un fattore di attenuazione unico per tutti i modelli di occhiale schermato. Occorrerà valutare caso per caso la tipologia di occhiale impiegato nella struttura sanitaria, ricavando, eventualmente anche con misure sperimentali, un fattore di correzione correlato al modello di occhiale impiegato nell'attività clinica.

In tale contesto può risultare giustificato definire una procedura aziendale di acquisizione di tale DPI che consenta, almeno per gli operatori a maggior rischio, di poter scegliere la montatura che meglio si conforma al volto e in particolare agli zigomi al fine di ottenere la miglior protezione possibile; per gli operatori più esposti è sempre opportuno suggerire l'adozione di un modello di occhiale dotato di protezione laterale

Un altro fattore da tenere in considerazione, in quanto incide in modo molto rilevante sulla valutazione della dose equivalente al cristallino, è la frequenza di utilizzo degli occhiali.

Secondo il documento ISTISAN 15/41[2] per il lavoratore che usi degli occhiali schermati senza garanzia di impiego costante, il fattore di attenuazione da impiegare dovrebbe essere pari a 0.5.

In ogni caso ICRP139 [8] sconsiglia di impiegare fattori di attenuazione superiori a 0.75.

Da notare che a volte in letteratura non si parla di fattore di attenuazione dell'occhiale ma di fattore di riduzione della dose (DRF).

### 3.6 Impiego di metodiche alternative al dosimetro

L'impiego di metodiche alternative al dosimetro come ad esempio l'uso del prodotto kerma per area (KAP) registrato dagli apparecchi radiologici non è appropriato dal momento che:

- non è facilmente correlabile al singolo lavoratore ovvero alla posizione assunta durante la procedura, al suo movimento rispetto al paziente, alla posizione dei monitor rispetto agli occhi, alla presenza/impiego di barriere pensili o all'altezza del lavoratore;
- risulta invariante rispetto alla proiezione utilizzata mentre i campi di radiazione che interessano il capo sono fortemente dipendenti dalla proiezione utilizzata; non risulta conforme alla normativa vigente che prevede che la valutazione sia effettuata di norma attraverso l'impiego di dosimetri individuali.

In letteratura [13,14,15,16,29] sono comunque riportati alcuni indici di correlazione fra KAP e dose equivalente al cristallino che presentano una variabilità molto elevata (si va da 0.29 mSv a 1.9 mSv per ogni Gy\*cm<sup>2</sup> [5]), evidenziando l'incertezza della metodica.

L'impiego di questi coefficienti di conversione fra KAP e dose equivalente al cristallino può quindi essere impiegato esclusivamente come strumento per una valutazione di screening finalizzata all'individuazione del gruppo di operatori da considerarsi più a rischio di avvicinarsi al limite e che quindi richiedano l'attuazione di un programma sistematico di valutazione della dose equivalente assorbita dal cristallino.

## 4. Lavoratori che operano in Medicina Nucleare

Discorso a parte va fatto per gli operatori di Medicina Nucleare, per i quali occorre distinguere fra esposizione a radionuclidi impiegati nelle indagini planari/SPECT, in PET e in terapia radiometabolica. Nel primo caso le energie dei fotoni emessi dai radionuclidi per indagini planari/SPECT si collocano nell'intervallo 100-200 KeV, per gli isotopi impiegati in PET si impiegano fotoni da 511 KeV mentre per le terapie radiometaboliche si utilizzano emettitori alfa, beta e gamma. Le fonti di rischio per gli operatori di medicina nucleare sono legate alle fasi di preparazione e somministrazione dei radiofarmaci e, nel caso dell'attività diagnostica, all'imaging.

La fase più critica per l'esposizione al cristallino è in generale quella della preparazione dei radiofarmaci e, nel caso della PET, anche della loro somministrazione.

Dati di letteratura [20-22] riportano per i lavoratori della Medicina Nucleare valori di dose equivalente al cristallino nel range da 0.6 a 9.3 mSv/anno, senza differenze significative fra l'occhio destro e sinistro mentre alcuni studi hanno valutato il rapporto fra la dose equivalente al cristallino espressa in  $H_p(3)$  e il valore di  $H_p(10)$  misurato al corpo trovando valori che variano da 0.3 a 2.3 [20] in un caso e fra 0.7 ed 1.1 in un altro [23].

Si può quindi ragionevolmente affermare che per i lavoratori che si limitino ad operare con radionuclidi dedicati all'imaging planare/SPECT la dose misurata con il dosimetro impiegato per la valutazione della dose efficace indossato a livello del torace e tarato in termini di  $H_p(10)$  possa essere utilizzata

per la valutazione della dose equivalente al cristallino: non ci si attendono in tal senso dosi equivalenti superiori a 10 mSv/anno [24].

Per coloro che siano coinvolti in attività di terapia radiometabolica con Lu-177 o con radionuclidi PET comuni (F-18, Ga-68) occorre considerare la componente di radiazione beta che è però inferiore a 700 KeV: anche in questi casi è quindi possibile impiegare il dosimetro tarato in  $H_p(10)$  per valutare la dose equivalente al cristallino.

Se consideriamo invece operatori che manipolano O-15, N-13 e C-11 ed ancor più coloro che operano con Y-90 per terapia si ha a che fare con radiazioni beta che possono arrivare ad alcuni MeV: in tali casi, per il monitoraggio della dose equivalente al cristallino è necessario un dosimetro tarato in  $H_p(3)$  da portarsi vicino agli occhi. Tale indicazione va riservata alle situazioni in cui non vengano usati degli schermi adeguati durante l'attività con radionuclidi e quindi vi sia il rischio di superare il limite di dose equivalente al cristallino di 20 mSv/anno, circostanza che, adottando norme di buona pratica, non dovrebbe nei fatti verificarsi.

E' del tutto evidente che viste le energie in gioco, l'impiego di occhiali schermati in medicina nucleare non è indicato: occorrerà invece adottare tutte le cautele classiche per limitare l'esposizione durante la manipolazione di radionuclidi (minimizzare il tempo di esposizione, aumentare la distanza fra sorgente-operatore, impiegare celle schermate, schermi per siringhe, contenitori schermati ecc.).

## 5. Sommario delle raccomandazioni

### 5.1 Quando valutare la dose equivalente assorbita dal cristallino

La valutazione della dose equivalente al cristallino tramite un monitoraggio sistematico è da effettuarsi per gli operatori suscettibili di una dose equivalente superiore a 10 mSv/anno indipendentemente dall'attività svolta e tenendo conto dell'eventuale impiego dei dispositivi di protezione individuale.

### 5.2 Come valutare la dose equivalente assorbita dal cristallino

#### Lavoratori coinvolti in procedure di radiologia interventistica

##### **MONITORAGGIO PUNTUALE DIRETTO**

- La valutazione della dose equivalente assorbita dal cristallino, nel caso di utilizzo di occhiali schermati, può essere eseguita con un dosimetro dedicato da posizionare sull'asticella dell'occhiale accanto all'occhio maggiormente esposto; in alternativa è possibile far indossare il dosimetro in una posizione prossima agli occhi del lavoratore (ad esempio sulla fronte o sul cappellino o anche sul collare tiroideo);

- La valutazione della dose equivalente al cristallino ( $D_{cri}$ ) può essere effettuata attraverso la seguente relazione:

ovvero

$$D_{cri} = H_p * (1 - A(x))$$

$$D_{cri} = H_p * B(x)$$

dove  $H_p$  si riferisce alla grandezza operativa impiegata ovvero  $H_p(3)$  o  $H_p(0.07)$  e  $B(x)$  rappresenta il fattore di trasmissione dell'occhiale.

### **MONITORAGGIO INDIRETTO**

In alternativa all'impiego del dosimetro dedicato al cristallino è possibile ricorrere ai valori di  $H_p(10)$  e/o  $H_p(0.07)$  misurati da un dosimetro impiegato per la valutazione della dose efficace indossato sopra al camice anti-X nella zona torace/collo o omero indossato sul lato maggiormente esposto.

- SE L'OPERATORE UTILIZZA L'OCCHIALE SCHERMATO

Per la valutazione della dose equivalente al cristallino ( $D_{cri}$ ) può essere utilizzata la seguente relazione:

ovvero

$$D_{cri} = H_p * K * (1 - A(x))$$

$$D_{cri} = H_p * K * B(x)$$

- SE L'OPERATORE NON UTILIZZA L'OCCHIALE SCHERMATO

La valutazione della dose equivalente al cristallino ( $D_{cri}$ ) viene eseguita mediante la seguente formula:

$$D_{cri} = H_p * K$$

dove in entrambi i casi  $K=0.75$  per i primi operatori e  $K=1$  per gli altri operatori,  $H_p$  si riferisce alla grandezza operativa impiegata ovvero  $H_p(10)$  o, se disponibile,  $H_p(0.07)$ .

### **Lavoratori che operano in Medicina Nucleare**

La dose valutata con il dosimetro tarato in  $H_p(10)$  e utilizzato per la valutazione della dose efficace può essere usata per la valutazione della dose equivalente al cristallino, in tutti casi tranne quando il lavoratore si trovi ad operare con radiazioni beta superiori a 700 KeV (ad esempio manipolazione di O-15, N-13 e C-11 o Y-90).

In questo caso si consiglia di adottare un dosimetro tarato in  $H_p(3)$  da indossare in prossimità degli occhi, tale indicazione dovrebbe comunque essere riservata al caso in cui non vengano usati schermi adeguati durante l'attività con radionuclidi, opzione quest'ultima da utilizzarsi evidentemente in via preferenziale.

## Bibliografia

1. International Commission on Radiological Protection (ICRP), Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context, ICRP Publication 118. 2012.
2. Indicazioni operative per l'ottimizzazione della radioprotezione nelle procedure di radiologia interventistica, Rapporto Istisan 15/41.
3. International Atomic Energy Agency (IAEA), Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. IAEA-TECDOC no 1731. 2013: Vienna.
4. International Radiation Protection Association, IRPA guidance on implementation of eye dose monitoring and eye protection of workers. 2017.
5. Martin CJ., Personal dosimetry for interventional operators: when and how should monitoring be done?, Br J Radiol. 2011 Jul;84(1003):639-48.
6. Bertolini M et al, Attenuation assessment of medical protective eyewear: the AVEN experience, JRP 36(2) 2016.
7. Van Rooijen, B.D., et al., Efficacy of radiation safety glasses in interventional radiology. Cardiovasc Intervent Radiol, 2014. 37(5): p. 1149-55.
8. International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. Ann ICRP, 2018. 47(2): p. 1-118.
9. Magee, J.S., et al., Derivation and application of dose reduction factors for protective eyewear worn in interventional radiology and cardiology. J Radiol Prot, 2014. 34(4): p. 811-23.
10. Martin, C.J., Eye Lens Dosimetry for Fluoroscopically Guided Clinical Procedures: Practical Approaches to Protection and Dose Monitoring. Radiat Prot Dosimetry, 2016. 169(1-4): p. 286-91.
11. F.Bonutti et al., Valutazione dell'efficienza di schermatura degli occhiali di protezione in radiologia interventistica, 8° Congresso Nazionale AIFM Torino 2013.
12. V. Sandblom, Evaluation of Eye Lens Doses Received by Medical Staff Working in Interventional Radiology at Sahlgrenska University Hospital. M.Sc. Thesis Department of Radiation Physics University of Gothenburg Gothenburg, Sweden January 2012.

13. N. Attigah et al., Radiation exposure to eye lens and operator hands during endovascular procedures in hybrid operating rooms, *Journal of Vascular Surgery*, Volume 63, Issue 1, 198 – 203.
14. A. Seryomaa et al., The dose-area product and assessment of the occupational dose in interventional radiology, *Radiat Prot Dosimetry*. 2001;96(1-3):235-6.
15. Martin, C. J. and Magee, J. S. Assessment of eye and body dose for interventional radiologists, cardiologists, and other interventional staff. *J. Radiol. Prot.* 33, 445–460 (2013).
16. Antic, V., Ciraj-Bjelac, O., Rehani, M., Aleksandric, D., Arandjic, D. and Ostojic, M. Eye lens dosimetry in interventional cardiology: results of staff dose measurements and link to patient dose levels. *Radiat. Prot. Dosim.* 154, 276–284, 2013.
17. Y. Haga e al, «Occupational eye dose in interventional cardiology procedures,» *Nature Scientific Reports*, pp. 7:569, DOI 10.1038/s41598-017-00556-3, 2017.
18. M. Nowak e al., «Eye lens monitoring programme for medical staff involved in fluoroscopy guided interventional procedures in Switzerland,» *Physica Medica*, vol. 57, pp. 33-40, DOI 10.1016/j.ejmp.2018.12.00, 2019.
19. H. Ishii e al., «A phantom study to determine the optimal placement of eye dosimeters on interventional cardiology staff,» *Radiation Protection Dosimetry*, p. 1–5 DOI 10.1093/rpd/ncz027, 2019.
20. Dabin, J., et al., Eye Lens Doses in Nuclear Medicine: A Multicentric Study in Belgium and Poland. *Radiat Prot Dosimetry*, 2016. 170(1-4): p. 297-301.
21. Leide-Svegborn, S., External radiation exposure of personnel in nuclear medicine from  $^{18}\text{F}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  and  $^{131}\text{I}$  with special reference to fingers, eyes and thyroid. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2012. 149(2): p. 196-206.
22. Summers, E.C., et al., Eye doses to staff in a nuclear medicine department. *Nucl. Med. Commun.*, 2012. 33(5): p. 476-80.
23. Kopec, R. et al., On the relationship between whole body, extremity and eye lens doses for medical staff in the preparation and application of radiopharmaceuticals in nuclear medicine. *Radiat. Meas.*, 2011. 46: p. 1295–1298.
24. Guidelines for Radiation Protection and Dosimetry of the Eye Lens, Report 31 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry, May 2018.

25. IAEA TECDOC 1731 Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye, 2013.
26. Strocchi S. et al., On-field evaluation of operator lens protective devices in interventional radiology, *Rad. Prot. Dosim.* (2016), Vol. 171, No. 3, 382-388.
27. Principi S. et al., The influence of operator position, height and body orientation on eye lens dose in interventional radiology and cardiology: Monte Carlo simulations versus realistic clinical measurements, *Phys. Med.* 32, (2016), 1111-1117.
28. Bart D. van Rooijen et al., Efficacy of Radiation Safety Glasses in Interventional Radiology, *Jeukens Cardiovasc. Intervent. Radiol.*, (2014), 37:1149–1155.
29. Betti et al., Surgeon eye lens dose monitoring in catheterization lab: a multi-center survey, *Phys. Med.* 60, (2019), 127-131.