



*aifm*  
**docs**



Valutazione preventiva della esposizione,  
classificazione delle zone  
e valutazione delle dosi assorbite  
in fase di esercizio in ambito radiologico



aiFM  
docs



---

Valutazione preventiva della esposizione, classificazione delle zone  
e valutazione delle dosi assorbite in fase di esercizio in ambito radiologico

Publicato: luglio 2020

codice ISBN: 979-12-80175-02-1

## Valutazione preventiva della esposizione, classificazione delle zone e valutazione delle dosi assorbite in fase di esercizio in ambito radiologico

### 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.

## SCOPO DEL DOCUMENTO

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

1. la valutazione dei tipici campi di radiazione legati all'impiego di apparecchiature RX in ambito sanitario;
2. classificare le zone ai fini della radioprotezione;
3. effettuare una stima preventiva del rischio funzionale alla classificazione di radioprotezione e provvedere quando necessario al suo aggiornamento;
4. 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

ANDREA GUASTI

### REVISIONE

FABRIZIO BANCİ BUONAMICI, STEFANO DE CRESCENZO, CATERINA GHETTI

### 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

DEFINIZIONI .....	5
§1) VALUTAZIONE DEI CAMPI DI RADIAZIONE CHE CARATTERIZZANO LE ATTIVITÀ COMPORTANTI L'IMPIEGO DI APPARECCHIATURE RX .....	5
§1.1) Valutazioni basate sul carico di lavoro .....	5
§1.1.1) Attività di radiologia tradizionale .....	6
a) Stazionamento in posizione protetta alla console comandi .....	6
b) Campi di radiazione dovuti allo stazionamento in prossimità del paziente .....	6
§1.1.2) Campi di radiazione dovuti ad esami su pazienti allettati .....	6
§1.2) Valutazione dei campi di radiazione nelle attività radiologiche complementari all'esercizio clinico della professione .....	7
§1.3) Valutazione della componente legata alla radiazione di fuga .....	8
§2) CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE .....	9
§3) VALUTAZIONE PREVENTIVA DELLE DOSI DA ESPOSIZIONE IN ATTIVITÀ COMPORTANTI IMPIEGO DI APPARECCHIATURA RX .....	10
§3.1) Efficacia dei grembiuli anti X (DRF) .....	10
§3.2) Efficacia dei guanti anti X (DRF).....	11
§3.3) Attività radiologiche specialistiche e/o attività conducibili al riparo di una barriera fissa. ....	11
§3.4) Attività radiologiche complementari all'esercizio clinico della professione e attività che comportano lo stazionamento in sala durante l'erogazione raggi. ....	11
§4) VALUTAZIONE DELLA DOSE ASSORBITA DURANTE L'ATTIVITÀ LAVORATIVA .....	12
§4.1) Valutazione della dose efficace .....	12
§4.2) Valutazione della dose equivalente alle mani .....	14
§5) SOMMARIO DELLE RACCOMANDAZIONI .....	15
§5.1) Valutazione in corso dell'attività: dose efficace. ....	15
§5.2) Valutazione in corso dell'attività: dose equivalente alle mani. ....	16
RIFERIMENTI .....	17
Appendice 1) Valutazione della radiazione diffusa con metodologia NCRP147 .....	20
Appendice 2) Misure sperimentali di radiazione diffusa .....	23
Appendice 3) Criticità nell'impiego del doppio dosimetro e del singolo dosimetro indossato sotto il camice anti-RX .....	24
Appendice 4) Algoritmi proposti per l'impiego del doppio dosimetro .....	27

## DEFINIZIONI

- A) DPI: DISPOSITIVO DI PROTEZIONE INDIVIDUALE
- B) DRF: DOSE REDUCTION FACTOR
- C) ICRP: INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION
- D) E: DOSE EFFICACE
- E) Hp: DOSE EQUIVALENTE
- F) LDR: LIVELLI DIAGNOSTICI DI RIFERIMENTO
- G) DA:: DOSE IN ARIA
- H) KA: KERMA IN ARIA
- I) H\*(10): EQUIVALENTE DI DOSE AMBIENTALE
- J) Hp(10, 0.07): EQUIVALENTE DI DOSE PERSONALE

### §1) VALUTAZIONE DEI CAMPI DI RADIAZIONE CHE CARATTERIZZANO LE ATTIVITÀ COMPORTANTI L'IMPIEGO DI APPARECCHIATURE RX

La valutazione dei campi di radiazione tipici delle attività comportanti l'impiego di apparecchiature RX deve tenere conto dei principali fattori caratterizzanti l'attività stessa e, essendo funzionale alla valutazione preventiva delle esposizioni professionali a radiazioni ionizzanti connesse, in particolare del tipo di attività (radiodiagnostica convenzionale e/o attività radiologica complementare all'esercizio clinico della professione con particolare riferimento alle attività radioscopiche e di tipo interventistico).

In termini generali la valutazione dei campi di radiazioni può essere effettuata sulla base di:

- conoscenza del carico di lavoro e tipo di apparecchiatura impiegata
- misure dirette
- dati di letteratura

Le tre modalità sopra indicate, che possono essere utilizzate in maniera complementare o alternativa, si prestano ad impieghi diversi a seconda che siano funzionali alla valutazione preventiva della esposizione o ad un suo aggiornamento a seguito ad esempio, dell'introduzione di nuove attrezzature o modifica dell'organizzazione del lavoro. Infatti nel caso di attività in essere almeno le informazioni relative alla numerosità delle procedure, condizione necessaria per la valutazione, dovrebbero risultare disponibili in quanto la loro registrazione è da tempo obbligatoria ai sensi del comma 1 dell'art. 12 del D.Lgs. 187/2000. Anche l'utilizzo dei sistemi di dose tracking, di sempre maggiore diffusione, può facilitare il recupero di informazioni tracciabili e oggettive in merito alla numerosità delle procedure. Viceversa tutte le informazioni ricavabili ex post, che possono essere impiegate per un aggiornamento della valutazione delle esposizioni, non possono ovviamente essere impiegate per la valutazione preventiva per la quale devono essere necessariamente impiegate informazioni diverse e di tipo previsionale fornite dal Datore di Lavoro per il tramite del Dirigente dell'attività.

#### §1.1) Valutazioni basate sul carico di lavoro

La valutazione preventiva a partire dalla conoscenza di  $kV_p$  e mAs, per quanto precisa e metodologicamente rigorosa in tutti gli ambiti, è applicabile in maniera immediata solo al caso della radiodiagnostica specialistica, in quanto nella TC, nelle attività radiologiche complementari all'esercizio clinico e nelle attività interventistiche la determinazione del carico di lavoro in termini mAs x sett. risulta estremamente complessa in relazione alla presenza di fattori come algoritmi di modulazione della corrente, presenza di serie di grafia, impiego della scopia pulsata ed il fatto che i campi di radiazione diffusa risultano fortemente variabili a seconda della proiezione considerata.

### §1.1.1) Attività di radiologia tradizionale

Nell'attività di radiologia tradizionale e TC il campo di radiazione cui risulta potenzialmente esposto l'operatore risulta sostanzialmente dovuto a:

- 1 lo stazionamento in posizione protetta alla console comandi;
- 2 lo stazionamento in prossimità del paziente in caso di assistenza al paziente o di svolgimento di procedure radioguidate;
- 3 l'effettuazione di esami su pazienti allettati

La modalità di possibile valutazione dei campi di radiazione dovuti alle tre componenti sopra indicate verrà discussa separatamente nei punti successivi.

#### a) Stazionamento in posizione protetta alla console comandi

La modalità elettiva di valutazione di tale componente è costituita dall'assumere l'obiettivo di progetto utilizzato nel calcolo della barriera a protezione dell'operatore come estremo superiore del campo di radiazione che lo può potenzialmente interessare. Il dato risulta certamente noto in quanto presente nell'esame preliminare dell'Esperto in Radioprotezione ai sensi della vigente normativa; in caso di indisponibilità di tale informazione, concretamente possibile soprattutto in caso di impianti molto vecchi, potranno essere utilizzati gli esiti della sorveglianza ambientale effettuata negli ambienti limitrofi alle sale RX occupati dai lavoratori e, in particolare, nell'ambiente che ospita la console comandi. Quest'ultima opzione potrà essere inoltre impiegata in tutte le situazioni in cui l'apparecchiatura è comandata da una posizione protetta collocata all'interno della sala (ad esempio nel caso della mammografia).

#### b) Campi di radiazione dovuti allo stazionamento in prossimità del paziente

Per valutare i campi di radiazione in prossimità del paziente possono essere impiegate le informazioni contenute nel report NCRP147 [1]. In appendice 1 è contenuta una sintesi della metodologia proposta e le criticità di cui tenere conto connesse alla sua applicazione.

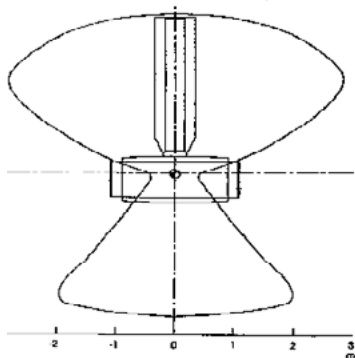


Figura 3: andamento dei campi di radiazione all'interno di una sala Tc

Nel caso di esami TC la valutazione del campo di radiazioni all'interno della sala può essere effettuata sulla base delle curve di isodose normalmente fornite a corredo dell'apparecchiatura e di cui in fig. 3 è fornito un esempio.

#### §1.1.2) Campi di radiazione dovuti ad esami su pazienti allettati

Nel caso di attività con apparecchiature RX portatili, utilizzate ad esempio per l'effettuazione di esami su pazienti allettati, il campo di radiazione diffusa prodotto può cautelativamente essere desunto ipotizzando che il valore di dose in ingresso sia pari al LDR relativo all'esame considerato ([18] [19]) e una frazione diffusa a 1 metro desunta dalla figura 2 di appendice 1 (che riprende la figura C.1 di NCRP 147).

Assumendo, in via conservativa, valida l'approssimazione  $D_a = K_a = H^*(10)$ , il valore di equivalente di dose ambientale ad 1 m può quindi essere ricavato dal valore di LDR moltiplicandolo per il coefficiente di diffusione relativo all'angolo e all'area di interesse. A titolo di esempio, assumendo,



nel caso di un esame radiologico del torace effettuato a 100 kVp un valore di dose in ingresso pari a 0.4 mGy, una superficie di ingresso pari a circa 1000 cm<sup>2</sup> e un fattore di diffusione a 90° a 1 m pari a circa 5 x 10<sup>6</sup> cm<sup>2</sup> il campo di radiazioni diffuso a 1 m risulta approssimativamente pari a 2 μSv.

### §1.2) Valutazione dei campi di radiazione nelle attività radiologiche complementari all'esercizio clinico della professione

Nelle attività radiologiche complementari all'esercizio clinico della professione, è difficile disporre di informazioni precise in termini di corrente media e tensione; inoltre l'utilizzo di tecniche pulsate, la presenza di serie di esposizioni in grafia, la forte dipendenza del campo di radiazioni dal tipo di proiezione impiegata e in generale la complessità delle procedure interventistiche rende una valutazione di dettaglio nella pratica irrealizzabile.

La valutazione dei campi di radiazione in tale caso può pertanto essere effettuata utilizzando più possibili opzioni:

a) la numerosità delle procedure può essere valutata sulla base di dati previsionali forniti dal responsabile dell'attività (molto spesso a corredo della relazione sanitaria che giustifica l'acquisizione di nuove apparecchiature) o sulla base delle registrazioni storiche effettuate ai sensi del D.Lgs 187/2000. Laddove l'informazione non sia ricavabile dalle registrazioni effettuate ai sensi del D.lgs 187/2000 o dai sistemi di dose tracking, solo la conoscenza diretta tramite un confronto con il responsabile dell'attività e gli operatori e l'utilizzo dei dati di letteratura può consentire di stimare la durata media dell'esposizione. La conoscenza della numerosità delle procedure e della loro durata media può quindi consentire di stimare il campo di radiazione integrato ad 1 metro (e quindi a tutte le distanze di interesse) dal paziente sulla base di assunzioni cautelative su tensione e corrente applicate tubo con le stesse metodologie viste in precedenza. Si possono ritenere in genere conservative le assunzioni di corrente media di tubo equivalente a 4 mA di scopia continua, tensione 80 kV<sub>p</sub> e campo 25x25 cm<sup>2</sup> a 100 cm; con questo approccio è possibile stimare, sulla base della durata dell'esposizione l'equivalente di dose ambientale alle diverse distanze usando la metodologia contenuta in appendice 1.

b) In alternativa a quanto indicato al punto precedente, potranno essere utilizzati i dati sperimentalmente verificati durante la prima verifica o, limitatamente al caso dell'impiego di archi a C, i dati sinteticamente contenuti nella pubblicazione 57 della ICRP e indicati in figura 4.

c) Per quanto riguarda le attività angiografiche si può stimare che i campi di radiazione previsti a 90° siano dell'ordine di 40 μGy/min a 1 m per tecniche pulsate a ≈ 80 kVp, 14 mA e spessori del paziente di 20 cm (vd appendice 2).

d) Una stima preventiva della dose in procedure interventistiche può derivare infine dalla conoscenza del numero e del tipo delle procedure e del relativo valore di DAP, desunto dalla letteratura ovvero dai dati storici dei sistemi di Dose Tracking.

Il report ISTISAN 15/41 [22] fornisce a pag. 79 la seguente tabella, estratta dai dati di Martin<sup>1</sup>.

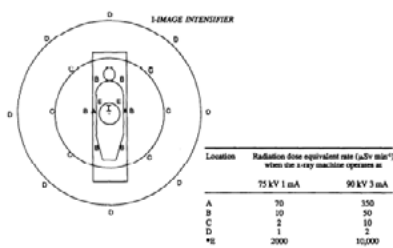


Fig. 83. Diagnostic radiology. Vertical fluoroscopy - horizontal patient. Typical dose equivalent rates during vertical fluoroscopy with a 17 cm dia. mobile image intensifier.

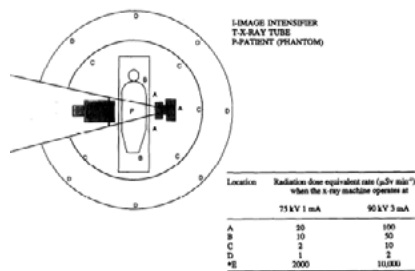


Fig. 84. Diagnostic radiology. Horizontal fluoroscopy - horizontal patient. Typical dose

Figure 4: rate di dose da ICRP57

1 Martin CJ., A review of radiology staff doses and dose monitoring requirements. Rad Prot Dosimetry 2009;136(3):140-57.

Tabella A3.4. Valori di rapporto tra dose agli operatori per vari organi (o dose efficace) e valori di KAP, espressi in  $\mu\text{Sv Gy}^{-1}\text{cm}^{-2}$

Organo	Primo quartile	Terzo quartile
Occhio	0,3	1
Tiroide	0,6	1,7
Mani (procedure percutanee)	30	60
Mani (procedure non percutanee)	1,3	4,5
Gambe (senza utilizzo di schermi)	4,6	9,2
Gambe (con utilizzo di schermi)	0,3	0,7
Dose efficace	0,01	0,06

Per quanto riguarda il valore di DAP associato alle procedure interventistiche più comuni, la letteratura fornisce molti riferimenti: un riferimento recente pubblicato su *Physica Medica* e relativo a centri italiani è riportato in calce<sup>2</sup>. Si sottolinea la necessità di utilizzare questi dati con cautela, stante la loro grande variabilità.

Va comunque sottolineata la grande incertezza che inevitabilmente affligge le valutazioni che possono essere effettuate utilizzando la metodologia contenuta ai punti precedenti legata soprattutto ai seguenti elementi:

- la valutazione del carico di lavoro nel caso sia di tipo previsionale e non ricavabile dai sistemi di dose tracking o dalle registrazioni effettuate ai sensi del D.Lgs 187/2000;
- lo spessore del paziente;
- il ruolo e, conseguentemente, la posizione dell'operatore
- la proiezione impiegata: si segnala a tale proposito che, nel caso della radiologia interventistica il campo di radiazioni che interessa la testa o le estremità inferiori dell'operatore, in assenza di protezioni può cambiare in maniera significativa rispetto a quello misurato all'altezza di 100 cm (considerata altezza media dell'asse del paziente, comunque a 90° sull'asse paziente, cfr fig. 4).

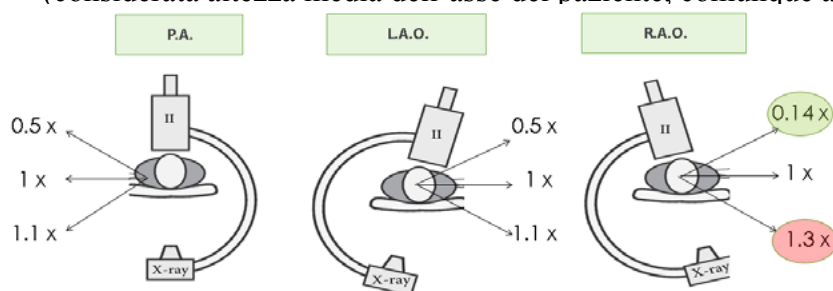


Figura 4: dipendenza relativa dei campi di radiazione dalla proiezione in attività interventistica

### §1.3) Valutazione della componente legata alla radiazione di fuga

Le norme di buona tecnica limitano l'intensità di tale componente e fanno sì che il suo contributo rientri nell'incertezza associata alla stima dei campi di radiazione. Si ricorda che la norma IEC 60601-1-3 dispone che la radiazione di fuga debba essere inferiore a 1mGy/h in ogni superficie di 100 cm<sup>2</sup> dell'angolo solido ad 1 m di distanza dal fuoco e al massimo carico di lavoro (§ 12.4 della norma).

<sup>2</sup> Isoardi, P et al, Patient dose in angiographic interventional procedures: A multicentre study in Italy, *Physica Medica*, Volume 64(2019), 273–292.

## §2) CLASSIFICAZIONE DELLE ZONE

La classificazione delle zone riveste carattere di criticità anche in relazione alle modalità di regolamentazione degli accessi. Si rileva infatti che l'obiettivo principale di tale attività, oltre che essere finalizzato alla valutazione della potenzialità della esposizione associata alla permanenza nell'ambiente di lavoro, trae origine dalla necessità di segnalare e regolamentare l'accesso agli ambienti in cui è necessario seguire procedure codificate a seguito della presenza di un rischio specifico.

A tale proposito, in considerazione della definizione di “Zona Classificata” (**Ambiente di Lavoro** sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti) si ritiene indispensabile riferirsi a barriere fisiche (ad esempio le pareti perimetrali della sala) proprio al fine di dare certezza al perimetro dell'ambiente in cui, sia pure con intensità diverse, è presente la possibilità di esposizione alle radiazioni ionizzanti pur nella consapevolezza che tale opzione risulta estremamente conservativa, in taluni casi anche in maniera esorbitante.

Nel caso della radiologia tradizionale e della radiologia interventistica condotta con angiografi fissi la classificazione delle zone dovrebbe essere effettuata in considerazione del carico di lavoro complessivo e riguardare la sola sala radiologica: le barriere protettive della sala dovrebbero infatti garantire obiettivi di progetto e conseguentemente vincoli dosimetrici definiti nell'ambito del principio di ottimizzazione e pertanto, visti i costi degli spessori piombo o piombo equivalenti tipicamente in gioco, frazioni dei limiti di dose per il lavoratori “non esposti” ( $< 0.50$  mSv/anno) nel caso delle aree occupate dai lavoratori e quindi anche per la console comandi. Nel caso delle aree occupate dai pazienti in attesa o dagli individui della popolazione transitori a qualunque titolo nelle aree limitrofe alle sale dovrebbero essere viceversa garantiti frazioni dei limiti di dose per la popolazione ( $< 0.25$  mSv/anno)<sup>3</sup>. Sotto tali condizioni non si configura la necessità di classificare ai fini della radioprotezione alcuna Zona all'esterno delle sale.

Anche nel caso di impiego di archi a C mobili la classificazione delle aree dovrebbe essere effettuata in considerazione del carico di lavoro complessivo della sala e dovrebbe limitarsi alla sola sala al cui interno viene impiegata l'apparecchiatura: si ricorda in proposito che una zona può essere classificata “Zona Sorvegliata” anche in assenza di una “Zona Controllata” e che la presenza di una “Zona Controllata” non configura necessariamente la necessità di una “Zona Sorvegliata”.

Nel caso invece di impiego di apparecchiature RX mobili per l'esecuzione di esami su pazienti allettati, in relazione alla presumibile diffusione nell'ambito della struttura ospedaliera e dei campi di radiazione prodotti, ben difficilmente si configura la necessità di delimitare un “ambiente di lavoro” in cui si configuri la possibilità di superamento dei limiti di dose per la popolazione.

La eventuale necessità di classificare ai fini della radioprotezione ambienti caratterizzati da una particolare ed elevata frequenza di esecuzione di esami su pazienti allettati (ad esempio in reparti di Terapia Intensiva o Shock Room) dovrà quindi essere oggetto di valutazione da parte dell'Esperto in Radioprotezione

Pertanto, nel caso di impiego di apparecchiature mobili, opzioni di delimitazione delle zone del tipo “una sfera o una circonferenza di raggio pari a ...” di norma sono decisamente sconsigliate in quanto non consentono una individuazione certa, in fase di impiego, dell'affettiva estensione della zona classificata.

<sup>3</sup> NCRP Report 116, Limitation of exposure to ionizing radiation, 1993.

### §3) VALUTAZIONE PREVENTIVA DELLE DOSI DA ESPOSIZIONE IN ATTIVITÀ COMPORTANTI IMPIEGO DI APPARECCHIATURA RX

La valutazione preventiva della esposizione radiologica a partire dai campi di radiazione si dovrebbe basare sulle informazioni fornite dal datore di lavoro per il tramite dei dirigenti dell'attività.

Tale valutazione dovrebbe ovviamente essere di tipo quantitativo ed espressa in termini di dose efficace/equivalente potenzialmente assorbibile, in quanto finalizzata alla classificazione di radioprotezione. Ciò premesso la possibile esposizione radiologica connessa alle attività con impiego di apparecchiature Rx e la conseguente dose efficace e/o equivalente assorbibile risultano legati a molti elementi tra i quali:

1. la conoscenza dei campi di radiazione cui risulta esposto l'operatore;
2. la posizione degli operatori rispetto all'apparecchiatura e/o al paziente durante l'erogazione raggi;
3. il carico di lavoro radiologico individuale;
4. l'organizzazione del lavoro;
5. il potere protettivo offerto dalle barriere protettive poste in essere;
6. il potere protettivo offerto dai DPI da utilizzarsi in sala durante l'emissione raggi;
7. la presenza e la possibilità di impiego di barriere mobili;
8. la formazione specifica.

La valutazione della esposizione e la conseguente classificazione di radioprotezione ad essa conseguente dovrebbe inoltre tenere conto da un lato del corretto impiego dei DPI disponibili e utilizzabili dall'altro del contributo delle esposizioni conseguenti a eventi anomali e malfunzionamenti che, senza comportare esposizioni accidentali e di emergenza, siano suscettibili di aumentare le dosi dei singoli derivanti dalla normale attività lavorativa.

In tale contesto, particolare rilevanza riveste quindi la valutazione del potere protettivo dei DPI nelle condizioni di impiego e in particolare la valutazione dell'efficacia del grembiule e dei guanti anti X, al fine della riduzione della dose efficace ed equivalente (DRF).

#### §3.1) Efficacia dei grembiuli anti X (DRF)

In tale caso si dovrebbe fare riferimento a quanto riportato in letteratura e nelle raccomandazioni dell'ICRP. Nel caso del camice anti X, ad esempio, esistono molti dati anche se non del tutto univoci relativi al DRF: in letteratura si trovano indicazioni sulla efficacia di un camice di spessore equivalente a 0.25 mm di Pb compresi, al variare dei  $kV_p$ , tra l'80% e l'85%, e tra il 90% e il 99% quando raddoppiato nel lato esposto al campo di radiazione diffusa. [3], [4],[5].

Alcuni autori e il Report 122 dell'NCRP<sup>4</sup> [5] suggeriscono di valutare la dose efficace e dividendo per un fattore 21 il valore della dose equivalente  $H_p(10)$  misurato da un dosimetro indossato all'altezza del collo, fuori dal camice ([5], pag. 141) quando venga indossato il camice di spessore pari a 0.5 mm di Pb assumendo, di fatto, un'efficacia del camice ai fini della riduzione della dose efficace pari al 5%; altri autori hanno proposto differenti valori [6].

Si tenga presente che l'attenuazione di un DPI non necessariamente coincide con il DRF perché, ad esempio, un camice di spessore pari a 0.25 mm di Pb, raddoppiato, fornisce un'ottima protezione per una geometria di irraggiamento antero posteriore mentre in caso di incidenza laterale o obliqua, ove il camice può non essere raddoppiato, il livello di protezione si riduce notevolmente. Recentemente la pubblicazione 139 della ICRP [7] ha suggerito l'adozione di un fattore DRF pari a

<sup>4</sup> NCRP 122, Use of personal monitors to estimate effective dose equivalent and effective dose to workers for external exposure to lox-let radiation, 1995.

10, indipendentemente dallo spessore del camice impiegato: in presenza di tale autorevole riferimento si ritiene opportuno suggerirne l'adozione. Per quanto riguarda la valutazione della dose equivalente assorbita dal cristallino, per la quale analoghe considerazioni potrebbero esser fatte, si rimanda al documento del collegio a ciò dedicato.

### §3.2) Efficacia dei guanti anti X (DRF)

Per quanto riguarda l'impiego di guanti antiX ovvero di creme a base di ossidi di bismuto, molto pubblicizzate, le conclusioni di ICRP139 [7] sono nette:

*“(195) Thin protective gloves are available, but reports of the protection offered are varied (15–60%). If a hand protected by a glove strays into the x-ray field, the dose rate will be increased automatically to compensate for the attenuation, thus increasing patient exposure without achieving any protection of the hand of the interventionalist (Wagner and Mulhern, 1996). New shielding materials (e.g. bismuth) have also been proposed as a hand cream for hand protection, subsequently to be covered with a surgical glove to provide containment of the cream material (McCaffrey et al., 2012). This cream has the same potential to increase dose if the hand is placed in the x-ray field. Moreover, the reduction in tactile feedback from radiation-attenuating material may lead to an increase in fluoroscopy time or CT exposure time for delicate procedures (NCRP, 2010).”*

Sulla base delle considerazioni sopra riportate se ne sconsiglia pertanto l'impiego.

Tutto ciò premesso, la valutazione preventiva della dose efficace ed equivalente assorbibile presenta difficoltà e peculiarità legate alle diverse attività radiologiche come di seguito indicato.

### §3.3) Attività radiologiche specialistiche e/o attività conducibili al riparo di una barriera fissa.

Si tratta del caso più semplice, che coinvolge la stragrande maggioranza degli operatori dell'area radiologica in senso stretto. In tal caso, in via conservativa, ai fini della stima preventiva delle esposizioni, la valutazione della dose efficace assorbibile può essere effettuata raddoppiando l'obiettivo di progetto adottato nel calcolo delle barriere al fine di tenere conto di eventuali eventi anomali.

### §3.4) Attività radiologiche complementari all'esercizio clinico della professione e attività che comportano lo stazionamento in sala durante l'erogazione raggi.

Si tratta del caso più complesso anche e soprattutto in relazione al fatto che l'organizzazione del lavoro incide in maniera determinante sulla valutazione della esposizione individuale soprattutto per il personale infermieristico dei blocchi operatori: anche in presenza di dati certi sulla numerosità delle procedure, i tempi di esposizione individuali possono essere molto diversi tra loro soprattutto nel caso in cui le funzioni aziendali preposte optino per un'organizzazione del lavoro del personale infermieristico non più basata su equipie monospecialistiche (ad esempio l'equipie infermieristica per l'ortopedia, quella per l'urologia e così via). In tal caso la distribuzione dei tempi di esposizione annuale del personale infermieristico del Blocco Operatorio valutata ex post, anche in presenza di dichiarazioni diverse dei responsabili, molto spesso assume una distribuzione tipicamente lognormale. Tale disuniformità nella distribuzione dei carichi di lavoro risulta di solito meno marcata nelle attività endoscopiche e in quelle di radiologia interventistica che, di solito, utilizzano personale dedicato. In ogni caso si sottolinea che una adeguata conoscenza della distribuzione dei carichi di lavoro è condizione necessaria per una corretta valutazione preventiva delle esposizioni e che, anche in questo caso, il sistema di responsabilità è molto chiaro: l'Esperto in Radioprotezione non può essere considerato responsabile di valutazioni preventive e conseguenti classificazioni errate a seguito di errate comunicazioni da parte del Datore di Lavoro.

Ciò premesso nel caso dell'attività radiologica complementare al fine di una valutazione preventiva delle dosi potenzialmente assorbibili dagli operatori possono essere utilizzati due approcci differenti ma entrambi basati sulla conoscenza del numero medio di procedure procapite:

- il primo basato sulla valutazione dei campi di radiazione stimati con la metodologia contenuta al paragrafo 1 in considerazione del potere di attenuazione dei DPI in uso;
- il secondo basato sui dati di letteratura che consentono, per molte procedure, di disporre di valori di dose efficace normalizzati alla singola procedura. Ad esempio il report ISS sulla radiologia interventistica [22] (pag 78), attualmente in corso di revisione ed aggiornamento, ed il report ICRP 139 [7] forniscono alcune indicazioni in merito. Altri dati, dedicati specificatamente alla cardiologia interventistica, sono riscontrabili in nel documento IAEA-TecDoc- 1735 [23]. Per quanto riguarda la interventistica non cardiologica, una review è presente a pagina 118 e 119 del Report 168 del NCRP168 [4]. Infine, una review abbastanza recente della dose al cristallino in differenti procedure è riscontrabile nel lavoro di Barnard *et al* [24]; questi dati possono essere impiegati sia per la valutazione preliminare della dose al cristallino, che, sulla base della assunzione conservativa di un fattore di riduzione della dose DRF = 10 fornito dal camice antiX suggerito dalle recenti linee guida ICRP139 [7], per la valutazione preventiva della dose efficace. Sulla base di tali indicazioni si ritiene che nell'ambito dell'incertezza associata alle valutazioni preventive una ipotesi di 10  $\mu$ Sv di dose efficace e 50  $\mu$ Sv di dose equivalente al cristallino per esame possa essere ritenuta un valore adeguatamente conservativo ([25]).

#### §4) VALUTAZIONE DELLA DOSE ASSORBITA DURANTE L'ATTIVITÀ LAVORATIVA

La valutazione della dose individuale durante l'attività lavorativa, soprattutto nel caso della radiologia interventistica nella quale le modalità di impiego dei dosimetri individuali può rappresentare un elemento discriminante, comporta molteplici difficoltà. Ciò non di meno si pone la necessità di fornire indicazioni uniformi sulle modalità di valutazione delle dosi efficaci e/o equivalenti anche al fine di garantire che un eventuale archivio nazionale delle dosi assorbite dai lavoratori sia popolato da dati confrontabili tra di loro.

Per quanto riguarda il monitoraggio degli arti superiori, in particolare delle mani, il valore del limite di dose equivalente (500 mSv) ne rende ragionevolmente improbabile il rischio di superamento se vengono adottate le normali procedure di buona tecnica in particolare se le mani non sono interessate al fascio diretto, situazione questa che di norma non accade vista la geometria di irradiazione se non nel caso di angiografi biplani).

In relazione agli obiettivi che rendono necessario il monitoraggio della dose equivalente (prevenzione delle lesioni tissutali) si ritiene comunque necessario il monitoraggio quando la dose può superare i 3/10 del limite di dose. Per quanto riguarda quando e come valutare la dose equivalente al cristallino, in relazione alla criticità di tale valutazione, si rimanda allo specifico documento redatto dal collegio. In questa sede verranno quindi trattati separatamente due aspetti: come valutare in fase di esercizio la dose efficace e come valutare la dose equivalente assorbita dalle estremità.

##### §4.1) Valutazione della dose efficace

La valutazione della dose efficace avviene di routine tramite l'impiego di dosimetri tarati in termini della grandezza operativa  $H_p(10)$ . Nella attuale situazione nazionale vengono normalmente utilizzati tre differenti modalità:

- a) un solo dosimetro sotto il grembiule anti X;
- b) un solo dosimetro sopra il grembiule anti X;
- c) due dosimetri, uno sotto il grembiule anti X, il secondo al di fuori del grembiule anti X.

La recente pubblicazione ICRP139 sulla radiologia interventistica [71] suggerisce come metodo più accurato l'utilizzo del doppio dosimetro qualora l'operatore sia esposto a campi di radiazione superiori a 2 mSv/mese e l'impiego di un solo dosimetro da portarsi al di sopra del grembiule anti X negli altri casi<sup>5</sup>. La pubblicazione citata indica anche gli algoritmi da impiegarsi in entrambi i casi al fine di effettuare la miglior stima della dose efficace.

Nel caso di impiego del doppio dosimetro la stima della dose efficace è effettuata come combinazione lineare delle letture dei due dosimetri, sopra e sotto il camice anti-X, variando i coefficienti di peso dei due termini:

$$E = \alpha \times H^{un} + \beta \times H^{ov}$$

ed effettuando la scelta tra una delle tre combinazioni sotto indicate:

Algoritmo	Con collare paratiroide		Senza collare paratiroide	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
Ordinanza svizzera 2008 <sup>6</sup>	1	0.05	1	0.1
McEwan (2000)			0.71	0.05
Van Boetticher et al (2010) <sup>7</sup>	0.84	0.051	0.79	0.1

Nel caso di impiego di un solo dosimetro portato al di fuori del grembiule anti X adottando le conclusioni di Martin e Magee [29], ICRP suggerisce che il valore di dose efficace sia ricavabile dalla relazione

$$E = \frac{H_p^{ov}(10)}{10}$$

Oltre alle considerazioni di carattere dosimetrico legate all'intensità dei campi di radiazione cui è sottoposto l'operatore, vanno comunque segnalate alcune criticità di cui tenere conto nella scelta tra le due tecniche (cfr appendice 2). In particolare diversi autori ([6], [26], [27]) concludono che l'impiego del doppio dosimetro non consente di ottenere risultati sostanzialmente migliori rispetto all'impiego del dosimetro singolo. Non vanno poi sottovalutate alcune difficoltà legate all'impiego del doppio dosimetro, che possono essere riassunte essenzialmente in due aspetti:

- 1) probabilità non trascurabile di inversione tra i due dosimetri, nonostante l'adozione di provvedimenti (ad esempio diversi codici di colori) che ne rendano agevole l'identificazione.
- 2) mancanza di un riferimento condiviso in letteratura sul miglior algoritmo da impiegarsi. In appendice 3 è contenuta una breve rassegna bibliografica utile alla scelta dell'algoritmo da utilizzarsi in tale caso.

<sup>5</sup> "If the  $H_0$  reading approaches or exceeds 20 mSv (effective dose ~2 mSv in 1 month), then wearing of a second dosimeter under the protective apron and the use of a specific algorithm should be considered" - "The combination of the readings of two dosimeters, one shielded by the apron and one unshielded above the apron at collar level, provides the best available estimate of effective dose (as has been stated by the Commission in previous publications). The dosimeter under the apron also provides evidence that an apron that provided sufficient shielding was worn regularly. The dosimeter over the apron, at collar level on the side of the interventionalist closer to the irradiated volume of the patient, not only contributes to assessing effective dose, but also provides a reasonable estimation of the equivalent dose to the lens of the eye and the head." (pagg. 12 e 13).

<sup>6</sup> Swiss Ordinance for personal dosimetry, edited by the Federal Chancellery, Bern (1999).

<sup>7</sup> Si noti che in ICRP139 esiste un refuso, qui corretto: rispetto all'articolo di Van Boetticher citato fornisce i coefficienti  $\alpha$  invertiti, nel caso in cui si impieghi lo schermo alla tiroide il valore corretto è 0.84, viceversa 0.79.

Rientra quindi nelle responsabilità e nelle competenze dell'Esperto in Radioprotezione determinare quale sia la migliore scelta tenendo anche conto delle specificità e dell'organizzazione della struttura al cui interno svolge la propria attività.

Per quanto riguarda la frequenza di sostituzione del dosimetro (e quindi di misura della grandezza operativa) ICRP139 [7] suggerisce che: *“Generally, interventional staff should be monitored for monthly periods to provide dose data with sufficient frequency that unusual radiation doses and events can be detected and appropriate responses implemented”* mentre per quanto riguarda la frequenza della valutazione, fatte salve le prerogative dell'Esperto in Radioprotezione previste dalla vigente normativa, si ritiene adeguata una frequenza della valutazione trimestrale indipendentemente dalla frequenza di sostituzione del dosimetro al fine di non risentire delle fluttuazioni nei carichi di lavoro tipiche delle attività sanitarie e dare maggiore efficacia ad eventuali interventi in tema di ottimizzazione delle esposizioni dei lavoratori<sup>8</sup>.

Risulta inoltre utile e in taluni casi necessario completare l'informazione fornita dal dosimetro personale con la dosimetria ambientale. Un dosimetro posizionato sul braccio dell'arco a C di un angiografo fisso o sul braccio/generatore di un arco a C mobile fornisce una buona stima del campo di radiazioni integrato in quella posizione e indicazioni utili soprattutto ai fini della valutazione dell'andamento nel tempo del carico di lavoro della singola apparecchiatura.

#### §4.2) Valutazione della dose equivalente alle mani

La dose equivalente alle mani andrebbe idealmente misurata con un dosimetro posto alla base di indice, medio od anulare della mano non dominante. È tuttavia noto che il dosimetro ad anello comporta vari problemi: in particolare, può rompere il guanto od essere gettato via con lo stesso al termine della attività. Fatte salve queste difficoltà, la valutazione della dose equivalente alle mani viene comunemente effettuata tramite dosimetri a bracciale o ad anello, che vanno portati necessariamente sulla mano non dominante (usualmente la sinistra). I dosimetri per estremità dovrebbero essere lavabili con gli ordinari antisettici di sala operatoria per garantire la stessa sterilità del lavaggio chirurgico di mani ed avambracci; per lo stesso motivo è necessario, qualora sia richiesta sterilità, che non siano presenti elementi non facilmente raggiungibili in ogni punto come bracciali intrecciati, chiusure tipo velcro o similari.

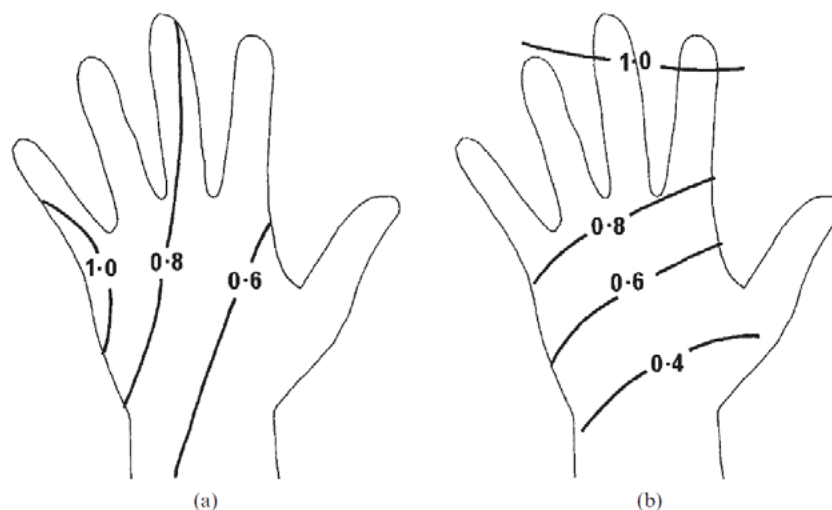
Il progetto ORAMED [39] (Optimization of Radiation Protection for Medical Staff), finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del VII programma quadro, ha effettuato una vastissima campagna di misure e simulazioni sia in radiologia interventistica che in medicina nucleare; i risultati per la radiologia interventistica sono sintetizzati nelle linee guida per la radiologia interventistica <http://www.oramed-fp7.eu/en/Guidelines>.

Per quanto esistano fluttuazioni tra le varie tipologie di procedura analizzate (IR, IC, ECRP), le dosi massime risultano localizzate all'indice o al polso della mano sinistra; in entrambi i casi un fattore moltiplicativo 2 consente una stima probabilmente conservativa. Un risultato simile è ottenuto da Martin ([25]), secondo il quale il dosimetro portato al bracciale può sottostimare la dose massima fino ad un fattore 3. La raccomandazione di Martin è il dosimetro ad anello indossato al mignolo della mano più vicina al tubo (mano non dominante).

<sup>8</sup> NCRP Report n. 107 “Implementation of the principle of as low as reasonably achievable (ALARA) for medical and dental personnel” 12/1990.



il lavoro di Martin et al [25] contiene la figura seguente che mostra il rapporto tra la dose massima e la dose in altre posizioni per radiologi interventisti nei due accessi femorale e percutaneo.



**Figure 1.** Diagrammatic representations of the distributions of dose across the left hand based on data from thermoluminescent dosimeter studies for (a) interventional procedures using femoral access and (b) percutaneous procedures relative to the dose recorded at the ring position on the little finger taken from [16]. In both cases the left hand is assumed to be closest to the X-ray tube and image intensifier. Reproduced with permission from Oxford University Press.

Anche ICRP139 ([7]) suggerisce la possibilità di impiegare un dosimetro a bracciale, con alcuni “caveat”:

*“(133) The ulnar aspect of the hand, which is side-on to the x-ray beam and closer to the irradiated volume of the patient, receives a higher dose, so dosimeters should be worn either on the little finger or the side of the wrist closest to the x-ray tube (Whitby and Martin, 2005; Vanhavere et al., 2012). (134) Proper dosimetry to evaluate dose to the hands and fingers is not easy in clinical practice. A method to estimate hand dose in interventional radiology is a wrist dosimeter but, due to the inhomogeneity of the radiation field near the patient and the potential of introducing part of the hands into the direct beam, the dose measured by wrist dosimeters could be much lower than the actual finger dose.”*

Sulla base di quanto sopra riportato, nel caso delle attività radiosopiche, si suggerisce l’impiego di un dosimetro a bracciale tarato in Hp (0.07) (che meno interferisce con l’attività) e, al fine di valutare la dose assorbita dalle estremità e di moltiplicare la misura della dose per un fattore 2.

## §5) SOMMARIO DELLE RACCOMANDAZIONI

### §5.1) Valutazione in corso dell’attività: dose efficace.

Sulla base di quanto indicato da ICRP si raccomanda il doppio dosimetro solo nel caso in cui l’operatore sia sottoposto a campi di radiazione maggiori di circa 2 mSv/mese e l’impiego di un solo dosimetro da portarsi al di fuori del grembiule anti X negli altri casi.

Nel caso di impiego di doppio dosimetro la valutazione della dose efficace può essere effettuata attraverso la relazione:

$$E = \alpha \times H^{un} + \beta \times H^{ov}$$

scegliendo i parametri  $\alpha$  e  $\beta$  tra una delle tre combinazioni sotto indicate:

Algoritmo	Con collare paratiroide		Senza collare paratiroide	
	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
Ordinanza svizzera 2008	1	0.05	1	0.1
McEwan (2000)			0.71	0.05
Van Boetticher et al (2010) <sup>9</sup>	0.84	0.051	0.79	0.1

Nel caso di impiego di un solo dosimetro da portarsi al di fuori del grembiule anti X il valore di dose efficace è ricavabile dalla relazione

$$E = \frac{H_p^{ov}(10)}{10}$$

L'opzione del singolo dosimetro portato al di sotto del grembiule anti X è da scartarsi per le motivazioni riportate in appendice 3.

### 1. §5.2) Valutazione in corso dell'attività: dose equivalente alle mani.

Nelle attività di radiologia interventistica, è possibile impiegare un dosimetro a bracciale sul polso della mano non dominante, rivolto verso la parte interna. È suggerita l'adozione di un fattore correttivo 2 ai fini della valutazione della dose equivalente per tenere conto del fatto che il polso può non essere il punto di massima esposizione.

In ogni caso, i dosimetri per estremità devono essere sterilizzabili a freddo per poter essere impiegati in attività clinica in cui la sterilità sia necessaria.

Versione 1.6

Data 28/05/2020

<sup>9</sup> Si noti che in ICRP139 esiste un refuso, qui corretto: rispetto all'articolo di Van Boetticher citato fornisce i coefficienti  $\alpha$  invertiti, nel caso in cui si impieghi lo schermo alla tiroide il valore corretto è 0.84, viceversa 0.79.

## RIFERIMENTI

- [1] NCRP147, *NCRP REPORT No. 147, Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities*, 2005.
- [2] ICRP116, *Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116, Ann. ICRP 40(2-5)*, 2010.
- [3] P. Negri, «Validazione Sperimentale di Modelli di Calcolo per la Valutazione della Dose Efficace in Attività di Radiologia Interventistica,» in *Atti congresso IRPA 2018*, 2018.
- [4] NCRP168, *Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Medical Procedures*, Bethesda, USA: National Council on Radiation Protection and Measurements, 2010.
- [5] NCRP122, *Use of personal monitors to estimate effective dose equivalent and effective dose to workers for external exposure to low-let radiation*, Bethesda, USA: National Council on Radiation Protection and Measurements, 2009.
- [6] Schultz e al., «Estimating effective dose for a cardiac catheterisation procedure with single or double personal dosimeters,» *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 118, n. 2, p. 196–204. DOI 10.1093/rpd/ncl018, 2006.
- [7] ICRP139, *Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139. Ann. ICRP 47(2)*, 2018.
- [8] Euratom, «Direttiva 59/2013,» 2013.
- [9] ICRP118, «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,» *Ann. ICRP*, vol. 41(1/2), pp. 9-313, 2012.
- [10] Daures, «Conversion Coefficients from air-kerma to personal dose equivalent Hp(3) for eye-lens dosimetry,» 2009.
- [11] G. Gualdrini e al., «Air kerma to Hp(3) conversion coefficients for photons from 10 keV to 10 MeV, calculated in a cylindrical phantom,» *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 154, n. 4, pp. 517-521, DOI 10.1093/rpd/ncs269, 2013.
- [12] A. Endo, «Operational quantities and new approach by ICRU,» *Annals of ICRP*, vol. 45, n. Issue 1 suppl, pp. 178-187, DOI 10.1177/0146645315624341, 2016.
- [13] A. Endo, «Calculation Of Fluence-To-Effective Dose Conversion Coefficient for use with ICRU RC26,» *Radiation Protection Dosimetry (2017)*, vol. 175, n. 3, pp. 378-387 DOI 10.1093/rpd/new361, 2017.
- [14] M. Bertolini e al., «Attenuation assessment of medical protective eyewear: the AVEN experience,» *Journal of Radiological Protection*, vol. 36, pp. 279–289 DOI 10.1088/0952-4746/36/2/279, 2016.
- [15] C. Martin, «Eye lens dosimetry for fluoroscopically guided clinical procedures: practical approaches to protection and dose monitoring,» *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 169, n. 1,4, pp. 286-291, DOI 0.1093/rpd/ncv431, 2016.

- [16] RP162, Euratom Radiation Protection 162 Criteria for Acceptability of Medical Radiological Equipment used in Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy, 2012.
- [17] DLgs230, *D.Lgs. 17 marzo 1995, n. 230 Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/64, 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti ( e smi)*, 1995.
- [18] DLgs187, *Decreto Legislativo 26 maggio 2000, n. 187 - Attuazione della direttiva 97/43/ EURATOM in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche*, 2000.
- [19] RP109, Euratom Radiation Protection 109, Guidance on Diagnostic Reference Levels (DRLs) for Medical Exposures, 1999.
- [20] C. Ma e al, «AAPM protocol for 40–300 kV x-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology,» vol. *Med. Phys.* 28 .6, n. 26,6, pp. 868-893, DOI 10.1118/1.1374247, 2001.
- [21] T. Lu e A. Trianni, *DICOM Correction Item CP-1513*, 2016.
- [22] ISS2015/41, *Indicazioni Operative per la ottimizzazione della Radioprotezione nelle procedure di radiologia interventistica*, vol. Rapporti ISTISAN 15/41, ISS, 2015.
- [23] IAEA-TecDoc-1735, *The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry and Research (ISEMIR): Interventional Cardiology*, Vienna: International Atomic Energy Association, 2014.
- [24] S. Barnard e al., «Radiation protection of the eye lens in medical workers—basis and impact of the ICRP recommendations,» *Br J Radiol* 2016; 89:20151034, pp. 1-9 DOI 0.1259/bjr.20151034, 2016.
- [25] C. Martin, «Personal dosimetry for interventional operators: when and how should monitoring be done?,» vol. *The British Journal of Radiology*, n. 84, pp. 639–648, DOI 10.1259/bjr/24828606, 2011.
- [26] G. Kuipers e al, «Effective dose to staff from interventional procedures: estimations from single and double dosimetry,» vol. 136, n. 2, pp. 95-100, DOI 10.1093/rpd/ncp155, 2009.
- [27] G. Kuipers e al, «Evaluation of the Occupational Doses of Interventional Radiologists,» *Cardiovasc Intervent Radiol*, vol. 31, pp. 483–489 DOI 10.1007/s00270-008-9307-7, 2008.
- [28] P. Negri e al, «Experimental validation of algorithms used to estimate effective dose during interventional radiology procedures,» *Radiation Protection Dosimetry*, pp. pp. 1–8 (advance print), DOI 10.1093/rpd/ncz136, 2019.
- [29] C. Martin e J. Magee, «Assessment of eye and body dose for interventional radiologists, cardiologists, and other interventional staff.,» *J Radiol Prot.* 2013 Jun;33(2), pp. 445-460, DOI 10.1088/0952-4746/33/2/445, 2013.
- [30] IRPA, *IRPA Guidance on Implementation of Eye Dose Monitoring and eye protection of workers*, 2017.
- [31] 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.

- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] E. Carinou e al., «Eye lens monitoring for interventional radiology personnel: dosimeters, calibration and practical aspects of hp (3) monitoring. a 2015 review,» *J. Radiol. Prot.* 35, pp. R17 - R34 DOI 10.1088/0952-4746/35/3/R17, 2015.
- [35] J. Magee e al., «Derivation and application of dose reduction factors for protective eyewear worn in interventional radiology and cardiology,» *J. Radiol. Prot.* , vol. 34, n. 4, pp. 821-823, DOI 10.1088/0952-4746/34/4/811, 2014.
- [36] L. Mao e al., «Influences of operator head posture and protective eyewear on eye lens doses in interventional radiology: a MonteCarlo study,» *Med Phys*, vol. 46, n. 6, pp. 2744-2751, DOI 10.1002/mp.13528, 2019.
- [37] R. Behrens e G. Dietze, «Monitoring the eye lens: which dose quantity is adequate?,» *Phys. Med. Biol.* 55 (2010), pp. 4047–4062 DOI 10.1088/0031-9155/56/2/511, 2010.
- [38] IAEA-TecDoc-1731, *Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye*, Vienna: International Atomic Energy Association, 2013.
- [39] ORAMED, «Optimization of Radiation Protection for Medical Staff,» 2011. [Online]. Available: <http://www.oramed-fp7.eu/en>.

## APPENDICE 1) VALUTAZIONE DELLA RADIAZIONE DIFFUSA CON METODOLOGIA NCRP147

Punto di partenza della trattazione è il rendimento del tubo RX. NCRP 147 propone come rendimento standard quello di un tubo radiologico secondo quanto proposto da Archer, che viene indicato come rappresentativo di un tubo RX standard.

Secondo quanto proposto da Archer il rateo di Kerma in aria primario (mGy/mAs @ kV<sub>p</sub>) alla distanza di 1 m per unità di carico di lavoro, rappresentativo di un tubo RX standard, è espresso dalla relazione <sup>10</sup>:

$$K_p(1m, kV) = 1.222 - 5.664 * 10^{-2} kV + 1.227 * 10^{-3} kV^2 - 3.136 * 10^{-6} kV^3 \quad (1.1)$$

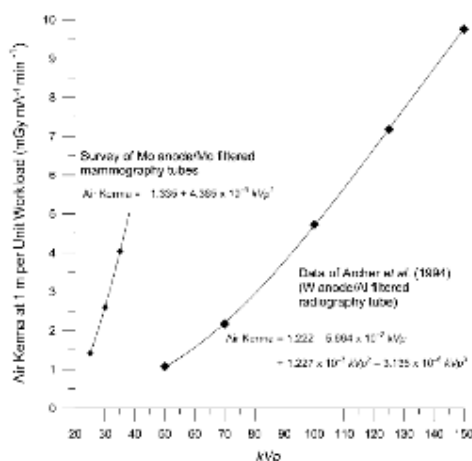


Fig. B.1. The primary beam air kerma per unit workload at 1 m [ $K_p^1(kV_p)$ ].

Non va però dimenticato che gli output presi come riferimento e calcolati con la relazione sopra indicata sono riferiti a generatori trifase e con filtrazioni totali molto diverse da quelle odierne, cosa che può comportare rendimenti significativamente diversi da quelli che caratterizzano le moderne apparecchiature. Per tale ragione, qualora disponibili, si suggerisce la possibilità di ricorrere ai rendimenti misurati sperimentalmente.

Il kerma in aria diffuso a 1 m dal tubo è fornito dalla relazione

$$K_a(1m, kV, mAs) = K_p(1m, kV) \times [a(F, \theta) \times 10^{-6} \times F(cm^2)] \times mAs \quad (1.2)$$

dove F è la dimensione del campo in cm<sup>2</sup> proiettata ad 1 metro,  $\theta$  è l'angolo di diffusione, ed  $\alpha(\theta)$  è il coefficiente di diffusione differenziale (cm<sup>-2</sup>) ad 1 m (NCRP [1], pag. 137) ricavabile dalla relazione:

$$\alpha = 1.6 \times 10^{-2} \times (kV - 125) + 8.43 - 1.11 \times 10^{-1}v + 9.83 \times 10^{-4}v^2 - 1.76 \times 10^{-6}v^3 \quad (1.3)$$

<sup>10</sup> NCRP147, pag. 126.

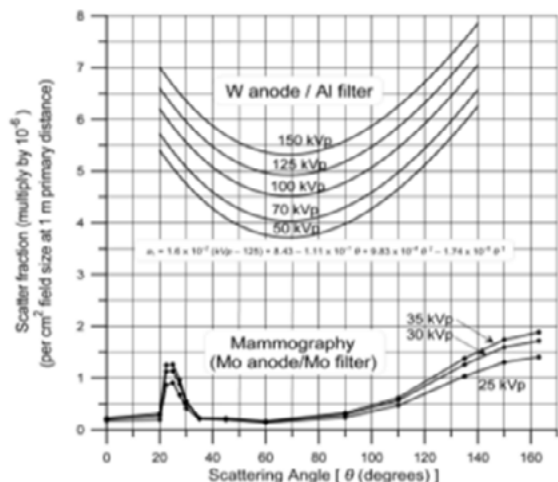


Figura 2 - frazione di scatter differenziale (cm<sup>-2</sup>) da NCRP147

A sinistra è riportata in grafico la frazione diffusa differenziale a (cm<sup>-2</sup>) per un tubo a raggi X (W anode/Al filter) e un mammografo (Mo anode/Mo filter) in funzione dell'angolo di diffusione  $\theta$  (NCRP147 pag. 137).

Si noti che il Kerma in aria diffuso ad 1 m dal tubo è una invariante per la distanza sorgente-paziente.

Assumendo un dato carico di lavoro, espresso in termini di kV di picco (kVp) e corrente del tubo (mAs), la dose efficace assorbibile ad una distanza d dal paziente, sarà data da:

$$E(kV, mAs) = \frac{K_a (1m, kV, mAs) \times K_{conv}}{d(m)^2} \quad (1.4)$$

dove  $K_{conv}$  è il fattore di conversione per passare da kerma in aria a dose efficace [2]. Si assume che anche per la radiazione diffusa sia valida la legge dell'inverso del quadrato della distanza.

Il fattore  $K_{conv}$  ha una dipendenza piuttosto complessa dall'energia e dalla direzione della radiazione incidente. Una sua stima in funzione dell'energia della radiazione incidente e della geometria di irraggiamento (antero-posteriore, isotropica, latero laterale, rotazionale) è fornita dalla pubblicazione ICRP n.116 ed è riportata in Figura 1.

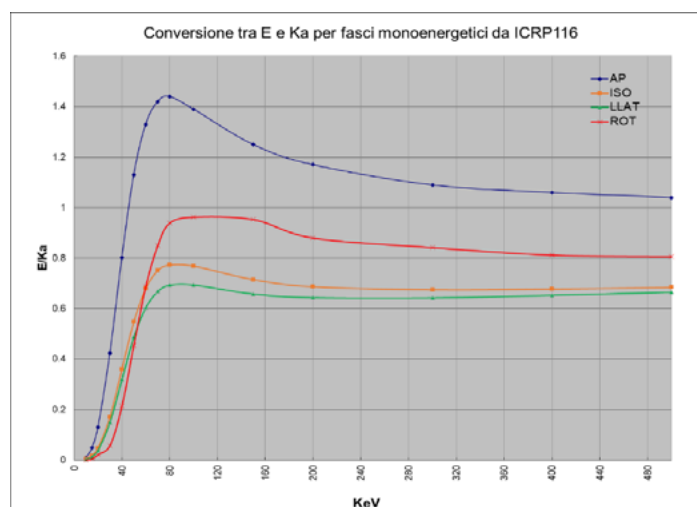


Figura 1: coefficienti di conversione tra E e Ka

Assumere  $K_{conv}$  pari a 1.4 (massimo valore nella configurazione AP) fornisce una stima conservativa della dose efficace, ma un valore ragionevole può anche essere 1.2 poiché l'irraggiamento in interventistica non è mai completamente frontale, anzi spesso è prevalentemente laterale.



## APPENDICE 2) MISURE SPERIMENTALI DI RADIAZIONE DIFFUSA

Si riportano alcune misure sperimentali come supporto alla valutazione dei campi di radiazione diffusa, in alternativa all'impiego del metodo proposto in appendice (1) <sup>11</sup>

Condizioni operative						
Fantoccio	Acqua profondità 20 cm (dimensioni circa 20x30x40 cm <sup>3</sup> )					
	Distanza fuoco-camera per output: 42 cm					
	Tubo Rx sotto lettino					
<b>Misure in modalità SCOPIA PULSATA</b>						
kV	mA	pps	Misura di fascio diretto mGy/min	Misura di fascio diffuso mGy/min	rapporto diffusa/fascio_diretto	
78	14	1	3.17	0.005	1.58E-03	
77	14	2	6.59	0.010	1.52E-03	
77	14	4	14.44	0.021	1.45E-03	
77	14	8	29.16	0.042	1.44E-03	
77	14	12.5	43.20	0.063	1.46E-03	
77	14	25	87.72	0.127	1.45E-03	
<b>Misure in modalità CINE HQ</b>						
kV	mA	pps	Misura di fascio diretto mGy/min	Misura di fascio diffuso mGy/min	rapporto diffusa/fascio_diretto	
73	66	1	11.59	0.016	1.38E-03	
72	65.5	12.5	149.64	0.205	1.37E-03	
72	65	25	298.20	0.407	1.36E-03	
<b>Misure in modalità CINE BAMBINO</b>						
kV	mA	pps	Misura di fascio diretto mGy/min	Misura di fascio diffuso mGy/min	rapporto diffusa/fascio_diretto	
78	3	1	1.40	0.002	1.43E-03	
78	3	12.5	17.45	0.026	1.49E-03	
78	3	25	33.60	0.050	1.49E-03	
<b>Misure in modalità MANUALE in funzione della tensione</b>						
kV	mA	pps	Misura di fascio diretto mGy/min	Misura di fascio diffuso mGy/min	rapporto diffusa/fascio_diretto	
75	3	25	15.01	0.021	1.40E-03	
85	3	25	20.70	0.033	1.59E-03	
95	3	25	32.22	0.056	1.74E-03	
105	3	25	40.80	0.075	1.84E-03	
115	3	25	86.58	0.168	1.94E-03	

<sup>11</sup> S. A. De Crescenzo, comunicazione privata.

### APPENDICE 3) CRITICITÀ NELL'IMPIEGO DEL DOPPIO DOSIMETRO E DEL SINGOLO DOSIMETRO INDOSSATO SOTTO IL CAMICE ANTI-RX

Sia l'impiego del doppio dosimetro che l'impiego di un solo dosimetro portato sotto il camice anti X comportano la necessità di affrontare alcune criticità, Per quanto riguarda il doppio dosimetro, si osserva che;

- 1) L'impiego del doppio dosimetro, che si consiglia di assegnare solo a lavoratori esposti a campi di radiazione dell'ordine di 2 mSv/mese o superiori, è soggetto al rischio di inversione tra i due (esterno sotto il DPI e viceversa). Questo comporta la necessità di un criterio decisionale per stabilire un valore minimo del rapporto  $H^{ov}/H^u$  al di sotto del quale una inversione sia probabile: si ritiene che una soglia ragionevole possa essere posta pari a 10.
- 2) In tutti i casi si pone il problema dell'interpretazione dei valori inferiori alla minima dose rilevabile e in particolare di decidere se considerare quest'ultima come una possibile dose misurata oppure se assumere pari a zero il valore stimabile. In considerazione dell'elevata incertezza associata alla misura e dell'elevata sensibilità dei sistemi dosimetrici impiegati attualmente, si ritiene praticamente trascurabile la differenza tra le due opzioni che sono entrambe possibili e adeguate ma devono essere esplicitate nei criteri di esercizio della sorveglianza fisica da riportarsi, ai sensi della normativa vigente, sul registro delle valutazioni.
- 3) Al fine di effettuare correttamente valutazioni di carattere medico legale e in particolare eventuali valutazioni del nesso causale di probabilità si suggerisce di attribuire agli "Zeri" un valore pari alla metà della minima dose rilevabile dal dosimetro <sup>12</sup>.

Poiché è ben noto che l'inversione tra il dosimetro portato sopra e sotto il camice antiX è piuttosto frequente, l'Esperto in Radioprotezione dovrà stabilire, oltre alla soglia di discriminazione di cui al capoverso (1), anche l'approccio da seguire per valutare la dose efficace in caso di inversione accertata. Si propone l'impiego della seguente formula:

$$E = \alpha \times (H^{ov} + H^{un})$$

nella quale  $\alpha$  è un coefficiente di pesatura che si suggerisce di assumere nel range 0.10, 0.15.

Per quanto riguarda la opzione di utilizzare un solo dosimetro, si ritiene che la scelta di utilizzarlo al di sotto del camice anti X, ancorché molto diffusa allo stato attuale, non risulti appropriata in relazione ad argomentazioni di ordine dosimetrico e metrologico.

Risulta infatti che la mancata possibilità di valutare la dose assorbita dalle parti del corpo non protette, nonostante il dosimetro sia tarato in  $H_p(10)$ , comporta una inevitabile sottostima della dose efficace unitamente al fatto che un gran numero di dati dosimetrici, ancorché di piccola entità, potrebbero risultare al di sotto della minima dose rilevabile.

Si riporta al riguardo quanto scritto in ICRP139 ([7], (pagg. 60 e 61):

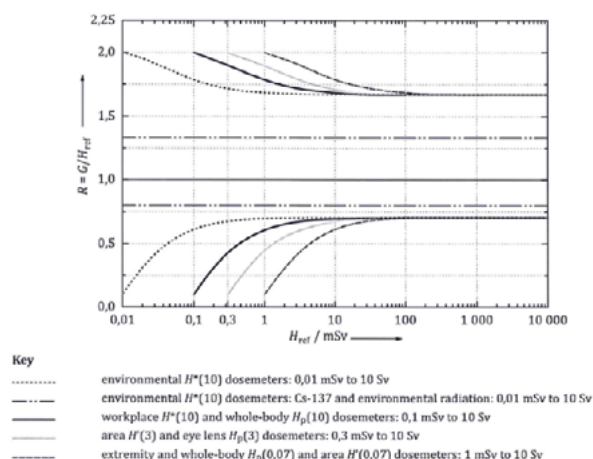
*"(110) A single dosimeter worn under the apron provides an indication of the dose received by the radiosensitive organs in the trunk, shielded by the apron. However, monthly readings of under-apron*

<sup>12</sup> DHHS, CDC, NIOSH, OCAS external dose reconstruction implementation guideline, OCAS-IG-001, 2v.

*dosimeters are often below the detection level, so the accuracy of the technique is poor and the value in providing information is limited.”*

*“NCRP (2010) also concluded that, if a single dosimeter is used, this should be worn over the apron (i.e. a single dosimeter worn under the radiation protective garments is unacceptable).”*

Qualora si ritenesse possibile valutare la dose agli organi non schermati applicando un fattore moltiplicativo alla lettura del dosimetro impiegato sotto il camice anti-RX (ad esempio la attenuazione misurata in condizioni simili a quelle reali), è opportuno osservare che, dal punto di vista metrologico, i servizi di dosimetria sono tenuti a rispettare un livello accuratezza che può variare da quasi il  $\pm 100\%$  nel campo delle basse dosi (50 - 100  $\mu\text{Sv}$ ) a circa il  $-35\%$ ,  $+70\%$  nel range delle dosi comprese tra 1 e 10 mSv. I limiti di accettabilità nel rapporto tra valore restituito dal dosimetro e valore vero sono infatti dati dalla cosiddetta “Trumpet Curve”<sup>13</sup>:



È del tutto evidente che qualunque sia il fattore moltiplicativo che si intenda adottare per correggere eventuali valori dosimetrici misurati sotto il camice anti-RX, tale moltiplicazione propaga linearmente l’errore: anche supponendo che il dosimetro abbia misurato una dose superiore alla sensibilità (esempio 100  $\mu\text{Sv}$ ), l’errore sulla misura a basse dosi si propaga rendendo la valutazione della dose fuori dal camice così ottenuta non significativa. A mero titolo esemplificativo, una lettura di 100  $\mu\text{Sv}$  è considerata accettabile nel range di dosi “vere” 20 , 200  $\mu\text{Sv}$ ; supponendo anche semplicemente un fattore moltiplicativo 10 la stima 1 mSv corrisponderebbe ad un range di dose “vere” compreso tra 0.2 mSv e 2 mSv, chiaramente inaccettabile. A maggior ragione l’approccio non è praticabile quando (come accade nella stragrande maggioranza dei casi) la dose letta risulta inferiore alla soglia di sensibilità del dosimetro.

<sup>13</sup> I limiti di accettabilità della risposta di un sistema di dosimetria individuale in condizioni di laboratorio devono rispettare i limiti della “Trumpet curve” definita nella norma UNI ISO 14146 - 2018 “Criteri e curve limite di riferimento di prestazione per la verifica periodica dei servizi di dosimetria”. Il rapporto R tra valore misurato e valore “vero” per radiazioni X e  $\gamma$  deve soddisfare la relazione

$$0,71 \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot H_0 / 1,33}{H_0 / 1,33 + H_{ref}} \right) \leq R \leq 1,67 \cdot \left( 1 + \frac{H_0}{4 \cdot H_0 + H_{ref}} \right)$$

dove  $H_0$  è il valore minimo rilevabile,  $H_{ref}$  il valore “vero” ed R il rapporto tra il valore misurato ed il valore “vero” della grandezza in misurazione.

Non va poi trascurato il fatto che l'impiego di un solo dosimetro portato al di fuori del grembiule anti X consente di effettuare anche la valutazione della dose al cristallino secondo le modalità indicate nello specifico documento del collegio.

## APPENDICE 4) ALGORITMI PROPOSTI PER L'IMPIEGO DEL DOPPIO DOSIMETRO

Come accennato nel testo non c'è un consenso diffuso sulla scelta dell'algoritmo di impiegarsi nel caso di impiego del doppio dosimetro <sup>14</sup>.

**Tabella 3-1** Principali algoritmi presenti in letteratura per la stima della dose efficace e riassunto del metodo utilizzato per ricavarlo

Autori	Metodo	Condizioni utilizzate	Protezioni	Algoritmi
Rosenstein and Webster (1994)	TLDs in Rando (Faulkner and Marshall)	70-90-110 kV Under-couch Overcouch	Camice 0-0,5 mm Pb Considerati a posteriori	$E=0,5H_u+0,025H_o$ $H_u$ livello addome $H_o$ livello collo
NCRP 122 (1995)	TLDs in Rando (Faulkner and Marshall)	70-90-110 kV Under-couch Over-couch	Camice 0-0,5 mm Pb Considerati a posteriori	$E=0,5H_u+0,025H_o$ $E=H_u/21$ $H_u$ livello addome $H_o$ livello collo
Franken, Huykens (1994)	Metodo analitico	APPALAT Coefficienti monoenergetici mediati sullo spettro X	Camice 0,25; 0,35; 0,5 mm Pb	$E=H_u/5$ ; $E=3H_u$
Niklason (1994)	Metodo analitico	AP 60;80;110 kV filtrazione 3mm Al	Camice e copri tiroide	$E=0,06(H_{u_0}-H_{u_1})+H_u$ $E=0,07H_{u_0}$ (no copri tiroide) $E=0,02(H_{u_0}-H_{u_1})+H_u$ $E=0,03H_{u_0}$ (con copri tiroide)
Ordinanza Svizzera (1999)			Camice e copri tiroide	$H_{u_0}(10)=H_u+0,1H_o$ (senza copri tiroide) $H_{u_0}(10)=H_u+0,05H_o$ (con copri tiroide) $H_{u_0}(0,07)=H_{u_0}+H_{os}$
McEwan (2000)	Metodo analitico	AP 66 keV Filtrazione: 0,5mm Pb	Camice 0,5 mm Pb	$E=0,71H_u+0,05H_o$ $E=0,08H_u$ $E=2H_u$ $H_u$ livello tronco $H_o$ livello collo
Borasi (2001)	Metodo analitico	AP 80 kV Filtrazione: 2,5 mm Al+ 0,5-0,25mm Pb Coefficienti di correzione per: obliquità, non uniformità fascio -kV maggiori	Camice e copri tiroide 0,25-0,5mm Pb	$E=1,4H_u+0,12H_o$ (senza copri tiroide) $E=1,4H_u+0,08H_o$ (con copri tiroide) $E=0,25H_u$ 0,25mm Pb $E=0,15H_u$ 0,5mm Pb
Franken, Huykens (2002)	Metodo analitico	APPALAT Coefficienti ricavati da simulazioni Monte Carlo per vari spettri X	Camice e copri tiroide 0-0,5 mm Pb Molti modelli di camice testati	$E \leq H_u/5$ $E \leq H_u+H_o/10$ (no copri tiroide) $E \leq H_u/30+H_u$ (con copri tiroide) $H_u$ livello torace $H_o$ livello collo

Sberbini-De Cicco (2002)	Metodo Monte Carlo	Sorgente puntiforme che simula spettri X di energia media: 20-34-51-70-117 kV	Camice 0,5 mm Pb	$E=H_u+0,07H_o$ $H_u$ livello addome $H_o$ livello collo
Von Doetticher (2008)	TLD in Rando	81-85-87-100-108 kV Otto diverse geometrie	Camice di diversi spessori considerati a posteriori	$E=0,64H_u+0,016H_o$ Con copri tiroide ICRP60 $E=0,64H_u+0,073H_o$ Senza copri tiroide ICRP60 $E=0,60H_u+0,047H_o$ Con copri tiroide ICRP103 $E=0,60H_u+0,094H_o$ Senza copri tiroide ICRP103 $H_u$ livello torace $H_o$ livello collo
Clarinx (2008)	Metodo Monte Carlo	90 kV Simulate 48 diverse procedure	Camice e copri tiroide 0,25; 0,5 mm Pb	$E=1,64H_u+0,075H_o$ Senza copri tiroide $E=1,64H_u+0,058H_o$ Con copri tiroide
Von Doetticher (2010)	Metodo analitico	AP fotoni monoenergetici da 30 a 80 keV	Camice e copri tiroide 0,35 mm Pb	$E=0,87H_u+0,023H_o$ Con copri tiroide ICRP60 $E=0,81H_u+0,083H_o$ Senza copri tiroide ICRP60 $E=0,84H_u+0,051H_o$ Con copri tiroide ICRP103 $E=0,79H_u+0,1H_o$ Senza copri tiroide ICRP103 $H_u$ livello torace $H_o$ livello collo

Simboli:  $H_u$ ,  $H_p(10)$  dosimetro sotto il camice,  $H_o$ ,  $H_p(10)$  dosimetro sopra il camice,  $H_{os}$ ,  $H_p(0,07)$  dosimetro sopra al camice,  $H_{us}$ ,  $H_p(0,07)$  dosimetro sotto al camice

Simboli:  $H_u$ :  $H_p(10)$  dosimetro sotto al camice,  $H_o$ :  $H_p(10)$  dosimetro sopra al camice,  $H_{os}$ :  $H_p(0,07)$  dosimetro sopra al camice,  $H_{us}$ :  $H_p(0,07)$  dosimetro sotto al camice

Un lavoro di Negri [3] presentato ad IRPA2018 e poi pubblicato su RPD [28] ha effettuato un accurato confronto tra i vari algoritmi pubblicati, impiegando dosimetri interni ad un fantoccio Alderson Rando per la valutazione della dose efficace e dosimetri esterni forniti da due differenti servizi per la stima di  $H_p$  e il calcolo di E con le varie formule proposte in letteratura, giungendo ai risultati riassunti nella figura che segue:

<sup>14</sup> La tabella 3.1 proviene da P. Negri, "VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI MODELLI DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA DOSE EFFICACE IN ATTIVITÀ DI RADIOLOGIA INTERVENTISTICA", Politecnico di Milano, corso di laurea specialistica in Ingegneria Nucleare, A.A. 2016-2017, unpublished thesis, con il permesso dell'Autore (la numerazione 3.1 si riferisce al lavoro originale).

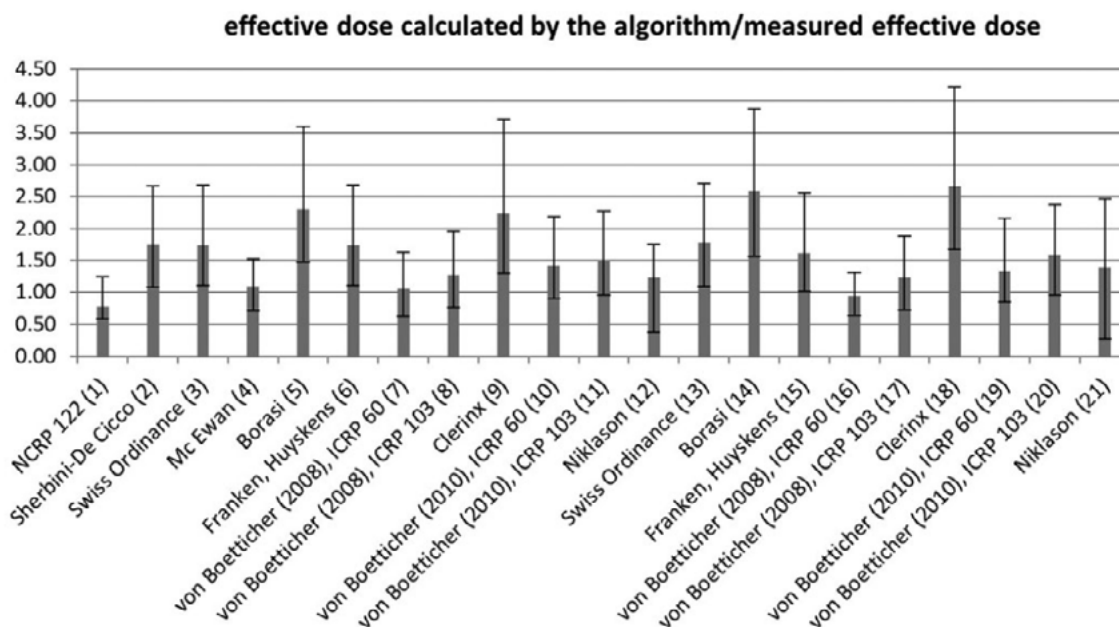


Figure 5. Ratio of effective dose calculated by the algorithm to measured effective dose. The algorithms are numbered in relation with Table 1. Histogram bars represent the average ratio, uncertainty bars refers to maximum and minimum values observed in all the irradiation conditions simulated. Algorithms were tested in their proper conditions of use (presence or absence of thyroid shield), with the over apron dosimeter worn at collar bone level and under apron dosimeter worn at chest level.

Come si vede i risultati mostrano una grande variabilità (ed anche barre di errore assolutamente non trascurabili). Per migliore leggibilità si riportano in tabella (pagina seguente) gli stessi dati in forma numerica <sup>15</sup>.

Sulla base di questi dati si può solo concludere che non esiste un algoritmo ottimale: gli algoritmi che forniscono i migliori risultati sono Niklason, Van Boetticher 2010 ICRP60 (lo stesso con i coefficienti ICRP103 tende a sovrastimare eccessivamente) e Van Boetticher 2008 ICRP103. Si osserva anche che McEwan fornisce valori ancora migliori, ma è stato studiato solo per il caso in cui non venga impiegato il collare paratiroide. È anche interessante notare che la maggior parte degli algoritmi fornisce risultati molto simili sia con il camice da 0.5 mm che con il camice da 0.25 mm.

<sup>15</sup> La tabella 7.3 proviene da P. Negri, "VALIDAZIONE SPERIMENTALE DI MODELLI DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA DOSE EFFICACE IN ATTIVITÀ DI RADIOLOGIA INTERVENTISTICA", Politecnico di Milano, corso di laurea specialistica in Ingegneria Nucleare, A.A. 2016-2017, unpublished thesis, con il permesso dell'Autore.

**Tabella 7-3** Rapporto tra valore stimato e misurato di dose efficace, mediato sulle sei condizioni d'irraggiamento sperimentali. Dosimetro esterno posto in corrispondenza della clavicola sinistra, dosimetro sotto camice portato all'altezza del torace.

Condizioni di utilizzo	Algoritmo	0,5 mm Pb		0,25 mm Pb	
		$E1^a/E2^b$	$E1^a/E2^b$	$E1^a/E2^b$	$E1^a/E2^b$
Non riportate	NCRP 122	0,68	0,71	0,88	0,77
	Sherbini-De Cicco	1,70	1,77	1,81	1,60
Senza copri tiroide	Swiss Ordinance	1,66	1,54	1,82	1,58
	Mc Ewan	0,98	0,91	1,19	1,04
	Borasi	2,13	1,98	2,45	2,14
	Franken, Huyskens	1,66	1,54	1,82	1,58
	Von Boetticher (2008), ICRP 60	1,14	1,06	1,20	1,05
	Von Boetticher (2008), ICRP 103	1,31	1,22	1,24	1,09
	Clerinx	1,90	1,74	2,58	2,24
	Von Boetticher (2010), ICRP 60	1,36	1,26	1,48	1,29
	Von Boetticher (2010), ICRP 103	1,50	1,40	1,53	1,34
	Niklason	1,02	0,93	1,45	1,26
Con copri tiroide	Swiss Ordinance	1,72	1,90	1,83	1,64
	Borasi	2,56	2,85	2,61	2,34
	Franken, Huyskens	1,47	1,59	1,74	1,56
	Von Boetticher (2008), ICRP 60	0,86	0,92	1,09	0,97
	Von Boetticher (2008), ICRP 103	1,29	1,46	1,19	1,06
	Clerinx	2,47	2,67	2,87	2,57
	Von Boetticher (2010), ICRP 60	1,19	1,27	1,48	1,33
	Von Boetticher (2010), ICRP 103	1,58	1,76	1,58	1,42
Niklason	1,12	1,14	1,65	1,48	

<sup>a</sup> Dose efficace stimata dall'algoritmo, con i valori di  $Hp(10)$  forniti dai dosimetri esterni, media sulle sei condizioni d'irraggiamento sperimentali.

<sup>b</sup> Dose efficace calcolata partendo dai valori dei TLD posti internamente, media sulle sei condizioni d'irraggiamento sperimentali.

Lo stesso lavoro [28] riporta un interessante risultato relativo all'impiego di un solo dosimetro. Sono stati effettuati tre irraggiamenti in configurazione LAO25 impiegando un fantoccio diffusore in RW3 ed il fantoccio Alderson-Rando "vestito" con due differenti camici anti-RX(entrambi 0.5 mm Pb equivalente - 0.25 mm Pb equivalente raddoppiato frontalmente – ma di tipologie differenti - un pezzo e due pezzi -), e senza camice anti-X. La dose efficace misurata con i dosimetri interni al fantoccio antropomorfo, con DPI, è stata confrontata con  $Hp(10)$  misurata dal dosimetro individuale determinata:

a) nel caso di irraggiamento CON il camice Anti-X:

- se posizionato in corrispondenza del collare, a livello della clavicola sinistra, lettura del dosimetro senza alcuna correzione (righe 1, 2);
- se posizionato sul corpo, sotto il camice Anti-X, lettura del dosimetro senza alcuna correzione (righe 1 e 2);

b) nel caso di irraggiamento SENZA il camice Anti-X:

- se posizionato sopra il collare, a livello della clavicola sinistra, lettura del dosimetro senza alcuna correzione (riga 3 colonna 1);
- se posizionato sul corpo, quindi ipoteticamente sotto il camice Anti-X, lettura del dosimetro corretta per la attenuazione nominale misurata per questo spessore di Pb equivalente e questa geometria (riga 3 colonne 2 e 3).

Lo scopo della misura è stato quello di valutare la congruità della misura di dose efficace con un singolo dosimetro portato sotto il camice. Si noti che per ottenere dati significativi l'irraggiamento con il camice è durato oltre 70 minuti.

**Table 7.**  $H_p(10)/E$  measured during irradiations performed with lead apron and thyroid shield (both 0.5 mm Pb/Pb Eq), compared to the results obtained during the irradiation in the same geometry but without protective clothing (dosemeters readings corrected with lead attenuation coefficients). Personal dosemeters worn on three different anatomical regions: collar bone (unshielded) thorax (shielded) and abdomen (shielded).

	$H_p(10)/E$		
	Collar bone. over the apron	Thorax. under the apron	Abdomen. under the apron
One piece design	11.24	0.81	2.88
Two piece design	9.47	0.42	0.20
With attenuation coefficient	10.31	1.03	1.38

Il risultato in tabella 7.1 mostra la grande variabilità nella stima di E sulla base di Hp misurata con i dosimetri posizionati sotto il camice e la possibile sottostima derivante dalla posizione (quindi dalla differente attenuazione del camice rispetto alla geometria di irraggiamento). Si noti che non è un problema di attenuazione nominale, l'impiego nella terza riga (colonne 2 e 3) di un fattore correttivo pari alla trasmissione misurata fornisce valori di gran lunga migliori. Interessante il fatto che, come già indicato, venga confermata la congruità della adozione di un fattore 10 per la correzione della lettura del dosimetro portato esternamente al collare paratiroide (risultato omogeneo nelle tre situazioni).

La adozione dell'approccio basato sul singolo dosimetro portato al di sopra del grembiule anti X si caratterizza per la maggior semplicità ed affidabilità, stante la difficoltà nella corretta gestione del doppio dosimetro, consente di limitare l'impiego del doppio dosimetro ai soli casi in cui i campi di radiazione cui è sottoposto l'operatore superino i 2 mSv/mese e una valutazione della dose equivalente assorbita dal cristallino. Si osservi che questa assunzione prescinde dallo spessore in Pb equivalente di camice e collare; in effetti NCRP168 [4] a pagina 126 riporta un fattore di riduzione della dose piuttosto modesto (tra il 7% ed il 16%) passando da un camice 0.25 mm Pb<sub>eq</sub> a 0.5 mm Pb<sub>eq</sub>.