

## **Rischio di cataratta ed esposizione a radiazioni ionizzanti negli operatori sanitari: un aggiornamento.**

Alberto Modenese, Elena Della Vecchia, Martina Muscatello, Giorgia Rossi, Fabriziomaria Gobba

Cattedra di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Scienze Biomediche, Metaboliche e  
Neuroscienze, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

### **INTRODUZIONE**

L'occhio è notoriamente uno degli organi sensoriali più importanti a rischio di effetti avversi nelle esposizioni a radiazioni ionizzanti (IR). Tra gli effetti uno dei più rilevanti è la cataratta, un fenomeno di opacizzazione del cristallino che può condurre a disabilità visive di vario grado, la cui insorgenza è stata ben documentata già dalla seconda metà del ventesimo secolo come uno dei principali effetti avversi associati all'esposizione a IR. Alla base di tale manifestazione è un danno a carico della capsula interna del cristallino, che è rivestita da uno strato trasparente di cellule epiteliali che hanno lo scopo di mantenere la normale funzione del cristallino. Se le cellule vengono danneggiate, tendono a perdere la loro trasparenza a causa della denaturazione delle proteine, la cui conseguenza è, appunto, la opacizzazione del cristallino. La gravità di tali cambiamenti aumenta progressivamente con la dose di IR assorbita: le prime fasi possono non causare un'opacizzazione tale da indurre una disabilità visiva, ma con il progredire dell'esposizione il processo degenerativo tende potenzialmente ad aggravarsi, ed il calo del visus diventa progressivamente maggiore, fino ad uno stadio finale di disabilità visiva che richiede un intervento chirurgico. La cataratta o, più in generale, le opacità del cristallino, sono patologie età dipendente, e vengono spesso classificate in tre tipi principali in funzione della loro localizzazione anatomica: cataratta nucleare (N), corticale (C) e posteriore sottocapsulare (PSC). Delle tre forme la PSC è la meno comune, ed è considerata quella usualmente più associata all'esposizione IR (1).

Per molto tempo si è pensato alla cataratta indotta da radiazioni come un effetto deterministico che si verifica solo dopo un'esposizione a dosi di IR relativamente elevate, con una gravità dose-dipendente con proporzionalità diretta, e con un periodo di latenza inversamente correlato alla dose. Tuttavia, i dati di studi recenti che hanno mostrato un aumento del rischio di opacità del cristallino anche dopo esposizioni a basse dosi, inducono a ritenere che la dose catarattogena sia

inferiore a quanto ritenuto nel passato, e che la relazione dose-risposta nell'uomo non sia ancora sufficientemente definita. Secondo questi risultati, anche piccole dosi cumulative di IR assorbite dal cristallino in un lungo periodo di tempo potrebbero indurre una cataratta progressiva, ed è stata addirittura avanzata l'ipotesi che la cataratta IR-correlata possa essere un fenomeno potenzialmente stocastico, legato ad un danno al DNA, che potrebbe quindi spiegare l'aumento del rischio a bassi livelli di esposizione alle radiazioni. I dati della letteratura non sono peraltro completamente coerenti, e ulteriori indagini sono ritenute necessarie (1).

I risultati di questi studi hanno comunque portato la International Commission on Radiological Protection (ICRP) ad abbassare i limiti di esposizione, a partire dalla Pubblicazione ICRP 118/2012 "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" (2), che ha aggiornato i dati risultanti da studi sperimentali di laboratorio ed epidemiologici sulle possibili soglie di induzioni di effetti deterministici da esposizione a IR in vari tessuti biologici, incluso il cristallino. In questo documento è stata considerata sufficientemente acquisita l'evidenza di effetti catarattogeni già per dosi di esposizione sensibilmente più basse di IR rispetto a quelle riportate in passato. La immediata conseguenza è stata la revisione dei limiti per l'esposizione occupazionale concernenti la dose equivalente al cristallino dai precedenti, pari a 150 mSv/anno, a quelli nuovi di 20 mSv/anno nella Direttiva Europea EURATOM 59/2013 (3), che è stata recepita in Italia con l'entrata in vigore il 27 agosto 2020 del Decreto Legislativo n. 101 del 31 luglio 2020 (4).

Considerando queste premesse, è stata ritenuta utile una revisione dei lavori pubblicati nella letteratura scientifica recente sul ruolo delle IR come fattore di rischio per la cataratta negli operatori sanitari. Sono considerati tra gli aspetti di maggiore interesse le recenti procedure con utilizzo di RI in ambito sanitario, ed il loro impatto sui livelli di esposizione a RI e sul rischio di cataratta negli operatori sanitari, e le specifiche attività associate a un rischio aumentato. Abbiamo affrontato il tema in una revisione sistematica pubblicata recentemente dal nostro gruppo (1) ma, in ragione della rilevanza in termini di prevenzione, e dell'attività di ricerca attualmente ancora in atto sulla tematica, ci siamo proposti di aggiornare la revisione, verificando la eventuale pubblicazione di ulteriori recenti lavori scientifici e di sintetizzare i principali risultati di rilievo.

## **MATERIALI E METODI**

Per la revisione sistematica è stata utilizzata una stringa per la ricerca messa a punto dal nostro gruppo (1). La stringa mirata ad identificare tutti gli articoli scientifici indicizzati su riviste scientifiche peer-review, è stata applicata per una ricerca nei database MEDLINE (via PubMed) e Scopus. Sono stati raccolti tutti i lavori pubblicati, senza limiti temporali per la data di pubblicazione, nelle lingue inglese, francese, italiana, portoghese o spagnola sino al 15/12/2020. Sono stati considerati eleggibili tutti gli studi epidemiologici che avessero valutato, in gruppi di pazienti con diagnosi di cataratta, la storia di esposizione occupazionale a RI in qualità di operatori sanitari, nonché studi di coorte che avessero seguito gruppi di operatori sanitari radioesposti per verificare la presenza di opacità del cristallino e studiarne i fattori correlati.

Dopo una prima revisione dei titoli e degli abstract di tutti i lavori per eliminare quelli non di interesse e gli eventuali duplicati, sono stati raccolti ed esaminati i full text dei lavori rimasti. I dati degli studi sono poi stati schematizzati in tabelle al fine di presentare una sintesi qualitativa descrittiva dei risultati. Gli studi inclusi sono stati anche sottoposti ad una valutazione della qualità complessiva utilizzando la metodologia proposta nel nostro precedente lavoro (1) secondo cinque dimensioni, ciascuna considerando un punteggio massimo di 3, per un punteggio massimo totale possibile di 15. Le cinque dimensioni erano: a) disegno di studio e materiali; b) considerazione di possibili fattori di confondimento; c) metodi per la misurazione dei risultati; d) metodi per la valutazione dell'esposizione; e e) modalità di presentazione dei dati e analisi statistica.

## **RISULTATI**

Applicando la stringa definita nel precedente nostro lavoro ed i medesimi criteri di inclusione (1), è stato possibile identificare un unico lavoro aggiuntivo rispetto ai 21 (5-25) contenuti nella recente revisione sistematica della letteratura condotta dal nostro gruppo. Nella successiva fase di revisione è stato però necessario escluderlo in quanto, sebbene l'abstract indicizzato su PubMed fosse in lingua inglese, il full-text del lavoro è risultato solo in lingua cinese, rendendone impossibile l'inclusione (26).

Abbiamo provveduto ad una sintesi ed un adattamento dei dati dei 21 studi scientifici, tutti pubblicati tra il 2008 ed il 2020. Il risultato di tale lavoro di sintesi è schematizzato nella Tabella 1, che riportiamo qui di seguito (Tabella 1).

**Tabella 1: Sintesi dei risultati principali degli studi epidemiologici pubblicati nel periodo 2004-2020 su cataratta es esposizione a radiazioni ionizzanti nel personale sanitario**

Autore, anno	N° soggetti esposti	Metodo per valutare l'esposizione	Metodo per valutare l'outcome (cataratta)	Principali risultati	Tipologia di cataratta considerata	Individuazione di un trend di associazione dose/risposta
<b>CARDIOLOGI INTERVENTISTI ED ALTRO STAFF COINVOLTO IN PROCEDURE DI CARDIOLOGIA INTERVENTISTICA (TECNICI RADIOLOGI ED INFERMIERI)</b>						
<b>Auvinen 2015</b>	21	Diretto quantitativo	LOCS II	Prevalenza di cataratta sottocapsulare posteriore nei cardiologi interventisti rispetto ai non esposti= 2,3% (IC 95% 0,29-19,9)	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	sì
<b>Barbosa 2018</b>	112	Qualitativo	LOCS III	Prevalenza significativamente aumentata di cataratta sottocapsulare posteriore nei cardiologi interventisti esposti a radiazioni ionizzanti rispetto ai non esposti= 13% vs 3%	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	no
<b>Bitarafan Rajabi 2015</b>	81	Qualitativo/ Indiretto quantitativo	LOCS III	Occorrenza opacità lenticolari nello staff di cardiologia interventistica rispetto al personale infermieristico non esposto= 79% (95% IC, 69.9-88.1%) vs. 7.1% (95% IC, 2.3-22.6%). Rischio attribuibile= 91.0% (95% CI, 40.0-98.6%). Aumento percentuale del rischio relativo negli esposti= 11.06% (95% IC 1.67-73.37%)	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	sì
<b>Ciraj-Bjelac 2010</b>	67	Indiretto quantitativo	Versione modificata classificazione Merriam-Focht	Prevalenza di PSC= 52% (95% IC: 35-73) nei cardiologi interventisti; 45% (95% IIC 15-100) nelle infermieri di cardiologia interventistica; 9% (95% IC 1-33) nei controlli RR= 5,7 (95% IC 1,5-22) per cardiologi interventisti; 5,0 (95% IC 1,2-21) for infermieri. Dose cumulativa oculare stimata= da 0.01 fino a 43 Gy, in media 3.4	Opacità sottocapsulari posteriori (PSC)	sì
<b>Ciraj-Bjelac 2012</b>	52	Qualitativo	Versione modificata classificazione Merriam-	Prevalenza di opacità sottocapsulari posteriori (PSC) nei cardiologi interventisti= 53%, nelle infermieri e nei tecnici=45%.	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate	sì

			Focht	RR rispetto ai non esposti= 2,6 (95% IC 1,2–5.4) per i cardiologi; =2,2 (95% IC 0,98–4,9) per infermieri e tecnici.	separatamente	
<b>Domienik Andrzejewska 2019</b>	69	Indiretto quantitativo	LOCS III	<p>Odd ratio aggiustato per presenza di cataratta negli esposti vs non esposti: OR = 1,47 (IC 95% 0,6-3,6)</p> <p>Dose cumulativa media oculare: all'occhio sinistro= 224 mSv; al destro= 85 mSv.</p> <p>Prevalenza cataratta sottocapsulare posteriore nei cardiologi interventisti= 7% vs 6% nei non esposti.</p>	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	no
<b>Jacob 2013</b>	106	Qualitativo	LOCS III	<p>Prevalenza di cataratta sottocapsulare posteriore= 17% nei cardiologi interventisti vs 5% nei non esposti (p = 0.006); OR = 3,9 (IC 95% 1,3–11,4).</p> <p>Il rischio aumenta con la durata della storia lavorativa come cardiologo interventista, ma apparentemente non c'è chiara correlazione con il carico di lavoro stimato in interventistica.</p> <p>Per chi utilizzava sempre protezioni oculari vs. chi non le utilizzava regolarmente: OR=0.55 (95% IC: 0.11–2.79)</p>	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	no
<b>Matsubara 2017</b>	48	Qualitativo/ Indiretto quantitativo	Versione modificata classificazione Merriam-Focht	<p>Prevalenza di cataratta sottocapsulare posteriore nei cardiologi interventisti= 28.6%; nel personale infermieristico e nei tecnici radiologi della cardiologia interventistica= 19.5%; aumento del rischio rispetto ai non esposti= per i cardiologi interventisti 10,6 (IC 95% 1,1-101,4); per il personale infermieristico e per i tecnici radiologi della cardiologia interventistica= 7.2 (IC 95% 0.9–55.0)</p>	Opacità sottocapsulari posteriori (PSC)	sì
<b>Vano 2010</b>	116	Indiretto quantitativo	Versione modificata classificazione Merriam-Focht	<p>Prevalenza di cataratta sottocapsulare posteriore (PSC) in cardiologi interventisti vs. non esposti= 38% vs 12% (p &lt; 0.005); RR =3,2 (IC 95% 1,7 - 6,1);</p> <p>RR in infermieri e tecnici di cardiologia interventistica (prevalenza di PSC=</p>	Opacità sottocapsulari posteriori (PSC)	sì

				21%) vs non esposti= 1,7 (0,8–3,7) Dose cumulativa stimata alla lente (NB: valori mediani)= 6.0 Sv per i cardiologi interventisti; 1.5 Sv per infermieri e tecnici		
<b>Vano 2013</b>	127	Indiretto quantitativo	Versione modificata classificazione Merriam-Focht	Stima media della dose cumulativa oculare in Gy= per i cardiologi interventisti con opacità 8,3 (± 5,4 DS, range 0,7-18,9); =3,0 (± 2,9 DS, range 0,1-9,7) per coloro senza opacità; per altro personale di cardiologia interventistica con opacità= 2,7 (± 2,0, range 0,6-6,3); senza opacità= 1,8 (± 1,9 DS, range 0,1-6,8)	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	sì
<b>Yuan 2010</b>	892	Qualitativo	Registri diagnostici di patologia	Prevalenza di cataratta in esposti vs. non esposti= 1,2% vs. 0,8%, test X <sup>2</sup> risultato non significativo	Non specificamente analizzate le diverse tipologie morfologiche di cataratta analizzate	no
<b>MEDICI RADIOLOGI E RADIOLOGI INTERVENTISTI, TECNICI DI RADIOLOGIA</b>						
<b>Bernier 2017</b>	42545	Indiretto quantitativo	Questionario	Aumento significativo del rischio di cataratta valutato tramite stima del Hazard Ratio (HR): =1,08 (95% IC 1,03-1,14) per l'effettuazione di almeno una procedura di medicina nucleare vs. nessuna procedura; = 1,07 (95% IC 1,01-1,12) per procedure di medicina nucleare a scopo diagnostico; = 1,10 (95% IC 1,04-1,17) per procedure di medicina nucleare a scopo terapeutico; = 1,30 (95% IC 1,08-1,58) per procedure di medicina nucleare a scopo diagnostico negli anni '80 rispetto agli anni 2000 e successivi; = 1,11 (95% IC 1,01-1,23) per procedure di medicina nucleare a scopo terapeutico negli anni '70s rispetto ai	Non specificamente analizzate le diverse tipologie morfologiche di cataratta analizzate	sì

				primi anni 2000		
<b>Chodick 2008</b>	35705	Indiretto quantitativo	Questionario	Per i lavoratori nella categoria di esposizione più elevata (esposizione stimata alla lente, in media= 60 mGy) vs i lavoratori nella categoria di esposizione più bassa (in media, 5 mGy): Hazard Ratio (HR), aggiustato per varie covariate, per presenza di cataratta= 1.18 (95% IC 0,99-1,40); Eccesso di rischio relativo per Gray: ERR/Gy = 1,9 (IC 95% -0,69-4,65)	Non specificamente analizzate le diverse tipologie morfologiche di cataratta analizzate	sì
<b>Little 2018</b>	67.247	Indiretto quantitativo	Questionario	Hazard Ratio (HR) per presenza di cataratta in soggetti con dose cumulativa alla lente di 20-49,9 mGy vs. esposizione <10.0mGy: = 1,11 (95% IC 1-1,23)	Non specificamente analizzate le diverse tipologie morfologiche di cataratta analizzate	sì
<b>Little 2020</b>	63.352	Indiretto quantitativo	Questionario	Esposizione occupazionale cumulativa a RI associata con la presenza di cataratta riportata mediante questionario: Excessive Additive Risk (EAR) per 10000 persone/anno per Gray= 94,2 (IC 95% 46,7-142,9). Associazione non significativa considerando come outcome gli interventi chirurgici per cataratta= EAR per 10000 persone/anno per Gray = 13 (95% IC <0-57, p=0,55)	Non specificamente analizzate le diverse tipologie morfologiche di cataratta analizzate	sì
<b>Velazquez-Kronen, 2019</b>	35.751	Qualitativo	Questionario	Rischio relativo (RR) per lavoratori con esposizione a RI che hanno effettuato procedure fluoroscopiche interventistiche vs coloro che non le hanno mai effettuate: RR per <1000 procedure = 1,1 (IC 95% 1,0-1,2); per 1000-<3000 procedure = 1,2 (IC 95% 1,1-1,4); per 3000-<5000 procedure= 1,2 (IC 95% 1,0-1,5); per >5000 procedure = 1,3 (IC 95% 1,2-1,5)	Non specificamente analizzate le diverse tipologie morfologiche di cataratta analizzate	sì

**ALTRI OPERATORI SANITARI ESPOSTI A RADIAZIONI IONIZZANTI (NB: in alcuni studi è possibile l'inclusione, insieme ad altri, anche di operatori appartenenti ai gruppi precedenti della radiologia e cardiologia interventistica)**

<b>Coppeta, 2018</b>	73	Diretto quantitativo	LOCS III	Opacità del cristallino: prevalenza = 10,5% nel gruppo totale (95% CI); =14,3% (4,9-34,6; CI 95%) per coloro con esposizione cumulativa di 10-30 mSv/anno; =17,8% (CI 95%; 7,8-35,6) per coloro con dose totale >30 mSv/anno	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	sì
<b>Milacic 2009</b>	115	Diretto quantitativo	Diagnosi mediante biomicroscopi a a retro-illuminazione	Differenza significativa (test del chiquadro= $\chi^2$ :65.92;p<0.01) per la prevalenza di cataratta nel personale esposto vs i non esposti; stima del rischio relativo= 4,6	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	no
<b>Mrena 2011</b>	57	Diretto quantitativo	LOCS II	Odd Ratio aggiustato per qualsiasi tipologia di opacità= 3,87 CI 95% (0,82 - 18,3); considerando solo opacità corticali o sottocapsulari posteriori OR = 1,28 CI 95% (0,08 - 19,38)	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	Sì
<b>Negrone 2016</b>	148	Qualitativo	Questionario	Personale sanitario con elevata esposizione a RI (cat. A) vs. altri: prevalenza di cataratta aumentata ( $\chi^2$ = 13,7; p = 0,0001); prevalenza aumentata anche in personale infermieristico radioesposto ( $\chi^2$ = 14,3; p = 0,0002) rispetto ad altre categorie; non osservati aumenti di prevalenza in personale medico e tecnici di radiologia rispetto ad altri.	Non specificamente analizzate le diverse tipologie morfologiche di cataratta analizzate	no
<b>Scheidemann-Wesp, 2019</b>	42	Qualitativo	LOCS III	Opacità del cristallino iniziali nei cardiologi interventisti vs non esposti= 59% vs 28% (differenza non significativa al test chi quadrato). Non aumento significativo delle opacità per altri gruppi di esposti (radiologi).	Tutte le diverse tipologie di cataratta sono state valutate separatamente	sì

Nella Tabella, gli operatori sanitari radioesposti oggetto degli studi inclusi nella revisione sono suddivisi in tre gruppi: 1) personale della radiologia, inclusi radiologi, radiologi interventisti e tecnici radiologi, considerati in cinque studi; 2) personale della cardiologia interventistica, inclusi cardiologi interventisti, infermieri e tecnici della cardiologia interventistica, considerati in 11 studi; 3) altri operatori sanitari radioesposti (con possibile inclusione nell'ambito di un gruppo allargato anche di alcune categorie appartenenti ai gruppi precedenti), analizzati in cinque studi.

L'esposizione oculare a IR è stata stimata con metodologia unicamente qualitativa (esposizione sì / no) in un terzo degli studi (n. 7; 33%), mentre poco di più (n.9) sono gli studi che hanno applicato metodi quantitativi indiretti (47%); infine, in 2 lavori (20%) sono state eseguite valutazioni miste qualitative e quantitative indirette. In vari studi, pur essendo state condotte misure dosimetriche quantitative dirette dell'esposizione a IR, non è stato possibile porre in relazione direttamente le dosi registrate in un breve periodo con la presenza di cataratta e/o opacità della lente, e le dosi sono state valutate come un indice di esposizione a breve termine.

Per quanto riguarda, invece, la valutazione della presenza di opacità del cristallino e/o di cataratta franca, anche in questo caso negli studi inclusi nella revisione sono stati applicati metodi diversi. Nei 2/3 circa delle ricerche (66%) la diagnosi è stata posta mediante una visita oculistica completa con esame mediante lampada a fessura, ma in ben 6 studi la diagnosi di presenza di cataratta si è basata solo su dati anamnestici soggettivi, raccolti tramite questionari. Un unico studio ha utilizzato invece un registro diagnostico proveniente da dati di un'assicurazione sanitaria.

La tipologia morfologica specifica di opacità riscontrata è stata classificata utilizzando sistemi di classificazione standardizzati in 13 studi (62%); di questi, in 5 è stato applicato il sistema Merriam-Focht (27), in 2 studi la seconda versione del Lens Opacities Classification System (LOCS II) (28) ed infine negli ultimi 6 la terza versione del LOCS (LOCS III) (29).

Per quanto riguarda la tipologia di cataratta, nel complesso tutti gli studi inclusi hanno rilevato un aumento della prevalenza di cataratta e/o di opacità lenticolari, ed in particolare delle forme sottocapsulari posteriori (PSC), nel personale sanitario radioesposto rispetto ai controlli non esposti, anche se in sei casi (29%) l'aumento non è risultato statisticamente significativo. Inoltre, la maggioranza degli studi ha anche individuato negli operatori sanitari un trend di associazione che seguiva una relazione di tipo-dose risposta, considerando la valutazione dell'esposizione cumulativa (stimata in modo quantitativo indiretto o qualitativo con gli anni di lavoro) e la presenza di opacità lenticolari/ataratta. Va peraltro anche considerato che la maggior parte degli studi ha utilizzato un disegno di tipo trasversale, confrontando la prevalenza di cataratta/opacità lenticolari tra operatori sanitari radioesposti e non esposti. Per quanto riguarda invece lo studio della relazione dose-risposta, gli studi maggiormente informativi sono alcuni studi di coorte condotti negli Stati Uniti in numerosi campioni di tecnici di radiologia (es. Little et al., Bernier et al., Chodick et al., Velazquez-Kronen et al.), che sono stati in grado di ricostruire gli eccessi di rischio per anno aggiuntivo di radioesposizione. In ogni caso, considerando le diverse tipologie di

personale esposto, i dati sono indicativi di un rischio maggiore nel personale della cardiologia interventistica, ed in particolare per i medici cardiologi.

La valutazione della qualità, condotta sulla base della metodologia già descritta (4), è indicativa di otto studi di alta qualità e uno di bassa qualità, mentre i restanti studi sono stati classificati di qualità media. I principali fattori che influenzano la qualità dello studio erano correlati al disegno dello studio, alla selezione dei partecipanti e ad un inadeguato aggiustamento dei fattori di confondimento mentre, con poche eccezioni, la valutazione dell'esposizione e delle opacità sono state considerate di qualità medio-discreta.

## **DISCUSSIONE E CONCLUSIONI**

Complessivamente, in tutti e 21 gli studi pubblicati sulle riviste internazionali peer-reviewed negli ultimi 12 anni (2008-2020) reperiti con la nostra ricerca è stato osservato un aumento del rischio o della prevalenza di cataratta nel personale sanitario esposto a IR; nel 70 % circa l'aumento era significativo (n. 15, 71%), mentre negli altri sei il rischio, pur essendo aumentato, non è risultato significativo dal punto di vista statistico. Gli aumenti di rischio appaiono associati a dosi cumulative crescenti di IR assorbite dal cristallino negli operatori sanitari. Per quanto riguarda i gruppi professionali indagati, nella categoria generale degli operatori sanitari esposti a IR la maggior parte degli studi si è concentrata sul personale impiegato in cardiologia interventistica, includendo non solo cardiologi interventisti ma, in vari studi, anche infermieri e tecnici. Dai dati osservati questi operatori risultano esposti a livelli più elevati di IR, ed hanno anche prevalenze più elevate di cataratta. Un altro gruppo professionale considerato in più studi è quello dei medici radiologi, inclusi i radiologi interventisti, e dei tecnici radiologi. A seguire, alcuni studi affrontano il problema dell'esposizione a IR e delle possibili conseguenze oculari in personale sanitario quale: pneumologi, anestesisti, endoscopisti, urologi, chirurghi, ortopedici, neurologi interventisti, altri medici che eseguono procedure interventistiche con esposizione a IR, personale di medicina nucleare e dentisti.

In accordo con precedenti revisioni (30), gli studi recenti considerati in questa rassegna indicano che negli operatori sanitari radioesposti, ed in particolare nel personale coinvolto in procedure interventistiche, il rischio di comparsa di opacità lenticolari e di cataratta franca, specie delle forme sottocapsulari posteriori, possa certamente essere non trascurabile. Tale rischio risulta essere correlato alla dose cumulativa, e dipende da molteplici fattori, quali le specifiche modalità

di esecuzione dell'attività lavorativa, incluse le posizioni adottate dagli operatori, che influenzano la distanza dalla sorgente.

Le prevalenze di piccole opacità lenticolari e di cataratta rilevate negli studi sono estremamente variabili, ed arrivano a superare il 50% degli esposti in alcuni studi; la variabilità dipende dalla mansione specifica svolta da parte degli operatori sanitari radioesposti, ma anche da alcuni importanti fattori di confondimento quali l'età media del gruppo reclutato nello studio, nonché la tipologia stessa di opacità e cataratta studiate, ed infine dalla metodologia utilizzata per la classificazione della patologia.

In conclusione, è possibile affermare che gli operatori sanitari con esposizione professionale a IR, specie alcune categorie quali i cardiologi interventisti, corrono un rischio significativamente aumentato di sviluppare forme di cataratta, specie sottocapsulare posteriore, in ragione della loro attività lavorativa, e che tali patologie vanno pertanto potenzialmente considerate come malattie professionali. La tipologia di associazione è coerente con un meccanismo del tipo dose-risposta, per cui il rischio di comparsa dell'effetto è tanto maggiore quanto elevata è la dose cumulativa assorbita al cristallino di IR.

Questi dati forniscono un'ulteriore base per la necessità di un'attenta programmazione ed implementazione di misure di prevenzione efficaci per ridurre l'esposizione professionale. Tra queste va ricordata l'importanza di un'adeguata formazione di tutti gli operatori sul rischio e sulla necessità di seguire rigorosamente tutte le procedure di prevenzione, inclusi il costante utilizzo dei dosimetri personali, degli schermi protettivi e dei DPI oculari. Gli operatori esposti debbono poi anche essere sottoposti alla sorveglianza medica da parte di un medico autorizzato con competenze approfondite ed aggiornate sulla tematica, attento a prevenire e, nel caso, a diagnosticare nella fase più precoce la possibile presenza di opacità lenticolari anche con la collaborazione dei colleghi oculisti.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Della Vecchia E, Modenese A, Loney T, Muscatello M, Silva Paulo M, Rossi G, Gobba F. Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: a systematic review. *Med Lav.* 2020 Aug 31;111(4):269-284. doi: 10.23749/mdl.v111i4.9045.

2. ICRP, 2012 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. Ann. ICRP 41(1/2).
3. Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013 , che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom
4. DECRETO LEGISLATIVO 31 luglio 2020, n. 101 Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordino della normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117. (20G00121) (GU Serie Generale n.201 del 12-08-2020 - Suppl. Ordinario n. 29)
5. Auvinen A, Kivelä T, Heinävaara S and Mrena S. Eye Lens Opacities Among Physicians Occupationally Exposed to Ionizing Radiation. Ann. Occup. Hyg. 2015;59(7):945-948.
6. Barbosa AHP, Medeiros RB, Corpa AMR et al. Prevalence of Lens Opacity in Interventional Cardiologists and Professional Working in the Hemodynamics in Brazil. Arq Bras Cardiol. 2019 Apr;112(4):392-399.
7. Bernier M-O, Journy N, Villoing D et al. Cataract Risk in a Cohort of U.S. Radiologic Technologists Performing Nuclear Medicine Procedures. Radiology. 2018 Feb;286(2):592–601
8. Bitarafan Rajabi A, Noohi F, Hashemi H et al. Ionizing Radiation-Induced Cataract in Interventional Cardiology Staff. Res Cardiovasc Med. 2015 Feb;4(1):e25148.
9. Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M et al. Risk of Cataract after Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation: A 20-Year Prospective Cohort Study among US Radiologic Technologists. Am J Epidemiol. 2008 Sep 15;168(6):620–31.
10. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH et al. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: Is there reason for concern? Catheter Cardiovasc Interv. 2010;76(6):826–34.
11. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Minamoto A et al. Radiation-Induced Eye Lens Changes and Risk for Cataract in Interventional Cardiology. Cardiology. 2012;123(3):168-171.

12. Coppeta L, Pietroiusti A, Neri A et al. Risk of radiation-induced lens opacities among surgeons and interventional medical staff. *Radiol Phys Technol*. 2019 Mar;12(1):26-29.
13. Domienik-Andrzejewska J, Kałużny P, Piernik G and Jurewicz J. Occupational exposure to ionizing radiation and lens opacity in interventional cardiologists. *Int J Occup Med Environ Health*. 2019 Oct 16;32(5):663-675.
14. Jacob S, Boveda S, Bar O et al. Interventional cardiologists and risk of radiation-induced cataract: Results of a French multicenter observational study. *Int J Cardiol*. 2013 Sep 1;167(5):1843–7.
15. Little MP, Cahoon EK, Kitahara CM et al. Occupational radiation exposure and excess additive risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. *Occup Environ Med*. 2020 Jan;77(1):1-8.
16. Little MP, Kitahara CM, Cahoon EK et al. Occupational radiation exposure and risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. *Eur J Epidemiol*. 2018 Dec;33(12):1179-1191.
17. Matsubara K, Lertsuwunseri V, Srimahachota S et al. Eye lens dosimetry and the study on radiation cataract in interventional cardiologists. *Phys Medica Eur J Med Phys*. 2017 Dec 1;44:232–5.
18. Milacic S. Risk of occupational radiation-induced cataract in medical workers. *Med Lav*. 2009 Jun;100(3):178–86.
19. Mrena S, Kivelä T, Kurttio P, Auvinen A. Lens opacities among physicians occupationally exposed to ionizing radiation – a pilot study in Finland. *Scand J Work Environ Health*. 2011;37(3):237–43.
20. Negrone M, Di Lascio D. Rischio di effetti deterministici in esposti a basse dosi di radiazioni ionizzanti: studio retrospettivo in un campione di operatori sanitari alla luce delle nuove raccomandazioni generali ICRP. *G Ital Med Lav Erg* 2016,38(2):83-88
21. Scheidemann-Wesp U, Gianicolo EAL, Cámara RJ et al. Ionising radiation and lens opacities in interventional physicians: results of a German pilot study. *J Radiol Prot*. 2019 Oct 18;39(4):1041-1059.
22. Vano E, Kleiman NJ, Duran A et al. Radiation Cataract Risk in Interventional Cardiology Personnel. *Radiat Res*. 2010 Jun;174(4):490–5.

23. Vano E, Kleiman NJ, Duran A et al. Radiation-associated Lens Opacities in Catheterization Personnel: Results of a Survey and Direct Assessments. *J Vasc Interv Radiol*. 2013 Feb;24:197-204
24. Velazquez-Kronen R, Borrego D, Gilbert ES et al. Cataract risk in US radiologic technologists assisting with fluoroscopically guided interventional procedures: a retrospective cohort study. *Occup Environ Med*. 2019 May;76(5):317-325.
25. Yuan MK, Chien CW, Lee SK et al. Health Effects of Medical Radiation on Cardiologists Who Perform Cardiac Catheterization. *J Chin Med Assoc*. 2010 Apr;73(4):199-204.
26. Guo QS, Ruan P, Huang WX, Shen HT, Qiu JC. [Analysis of lens opacity and its influencing factors of medical radiation workers]. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 2020 Nov 20;38(11):826-830. Chinese. doi: 10.3760/cma.j.cn121094-20200120-00032.
27. Merriam GR, Focht EF. A clinical and experimental study of the effect of single and divided doses of radiation on cataract production. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1962; 60:35-52.
28. Chylack LTJ, Leske MC, McCarthy D et al. Lens Opacities Classification System II (LOCS II). *Arch Ophthalmol*. 1989Jun;107(7):991-997.
29. Chylack LTJ, Wolfe JK, Singer DM et al. The Lens Opacities Classification System III. *Arch Ophthalmol*. 1993;111(6):831-836.
30. Hammer GP, Scheidemann-Wesp U, Samkange-Zeeb F et al. Occupational exposure to low doses of ionizing radiation and cataract development: a systematic literature review and perspectives on future studies. *Radiat Environ Biophys*. 2013 Aug;52(3):303-19.