

LAMBERTO MANZOLI, FERDINANDO ROMANO, CRISTIAN D'OVIDIO,  
VITTORIO LODI, FRANCESCO S. SCHIOPPA, GIOVANNI MARIA PIRONE

**RADIAZIONI IONIZZANTI A BASSE DOSI:  
STATO DELL'ARTE SUGLI EFFETTI  
PER LA SALUTE UMANA**



Istituto Italiano di Medicina Sociale

# INDICE

<b>Presentazione</b> ( <i>Pietrantonio Ricci</i> ).....	Pag.	7
<b>Capitolo I - La ricerca in sintesi</b> .....	»	9
Premessa .....	»	9
Relazione e obiettivi .....	»	9
Materiali e metodi.....	»	11
Risultati della ricerca bibliografica .....	»	14
Scheda della ricerca .....	»	18
<b>Capitolo II - Attuali evidenze epidemiologiche in tema di RIBD</b> .....	»	21
Premessa .....	»	21
Metodologia della ricerca .....	»	22
Discussione delle evidenze ottenute .....	»	25
Conclusioni .....	»	27
- <i>Valutazione epidemiologica e considerazioni in tema di sanità pubblica</i> .....	»	27
- <i>Radioprotezione e Medicina Legale</i> .....	»	28
Bibliografia .....	»	30
<b>Capitolo III - Riferimenti legislativi inerenti i lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti</b> .....	»	43
Compiti di datore di lavoro, dirigenti e preposti (ai sensi dell'art. 61, D.Lgs, 230/95) .....	»	47
Compiti del medico autorizzato .....	»	49
Protocollo per la sorveglianza sanitaria del personale radioesposto (Linee guida AIRM) .....	»	50
Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti .....	»	53
Allegato A: Referenze bibliografiche degli studi ottenuti (distinte per motivi di fruibilità da quelle della pubblicazione).....	»	63

## *Presentazione*

*L'effetto sulla salute delle radiazioni ionizzanti a basse dosi è da sempre fonte di acceso dibattito. Tuttavia, negli ultimi anni, l'esigenza di chiarimenti su questo tema si è fatta sempre più sentita in seguito ad alcuni fatti, indipendenti tra loro ma concorrenti ad accrescere i dubbi della comunità scientifica e, di riflesso, degli organi preposti alla tutela dei cittadini e dei lavoratori. In primo luogo, la recente uscita di diversi studi internazionali i cui risultati arrivano, in alcuni casi, a ribaltare l'opinione corrente, affermando un possibile effetto positivo di dosi molto basse di radiazioni. In secondo luogo, nell'aprile 2002, la pubblicazione in Gazzetta Ufficiale del Decreto del Ministero della Salute n. 488/2001, che solleva forti perplessità e acuisce alcune questioni irrisolte negli ambiti di Medicina Legale e del Lavoro. Infine, la modifica del Decreto Legislativo 626/94, attraverso l'articolo 1-bis della Legge n. 1/2002, che estende responsabilità e competenze in materia di Medicina del Lavoro agli igienisti, con la conseguenza prima di riportare gli agenti nocivi per il lavoratore – tra cui le radiazioni ionizzanti – tra i temi di interesse per i professionisti di sanità pubblica. Per l'insieme dei motivi citati, nel febbraio 2003, l'Istituto Italiano di Medicina Sociale ha ritenuto necessario proporre, finanziare e collaborare allo svolgimento di una ricerca dal titolo "Esposizione lavorativa alle radiazioni ionizzanti, ultraviolette e nell'utilizzo di sorgenti laser".*

*Così come appare ovvio che un tema di matrice multidisciplinare, quale l'effetto sulla salute delle radiazioni ionizzanti a basse dosi, debba essere trattato anche in un'ottica di sanità pubblica, è altrettanto evidente che, negli ultimi trent'anni, in Italia come all'estero, i professionisti nel campo della Sanità Pubblica hanno, con poche eccezioni, trascurato questo ambito. Per rendersi conto di tale realtà, e del fatto che questo processo si è verificato non solo a livello nazionale ma internazionale, è sufficiente svolgere una ricerca in Medline, il principale database medico mondiale, inserendo quali termini della query "public health" AND "(ionizing radiation OR ionising radiation)". Restrungendo la ricerca ai soli articoli che hanno entrambi i termini nel titolo, si trova un numero di lavori eccezionalmente esiguo: 14 articoli, 9 dei quali svolti prima del 1966.*

*Ampliando la ricerca, e cercando studi con tali termini sia nel titolo che nell'abstract, il risultato non migliora di molto: si trovano meno di 60 articoli pubblicati in tutto il mondo negli ultimi dieci anni.*

*Senza entrare nel merito della validità della Legge 1/2002, oggetto di acceso dibattito ed in fase di modifica, è però necessario poter percorrere un passo successivo nello studio sugli effetti delle radiazioni ionizzanti a basse dosi, avvalendosi della collaborazione di un gruppo di esperti multidisciplinare. L'Istituto ha quindi ritenuto opportuno, in fase di ricerca su un ambito caratterizzato da profonde difficoltà di natura epidemiologica, affidare questo progetto a professionisti di tutte le discipline interessate, in modo da poter ottenere una panoramica completa sull'argomento.*

*Il presente lavoro costituisce la prima review italiana, a mia conoscenza, in cui sono applicate le metodologie della sanità pubblica allo studio delle radiazioni ionizzanti a basse dosi. Per le ragioni di cui sopra, il progetto ha inteso avere, quindi, un duplice significato. Oltre alle indicazioni derivanti dall'analisi svolta, la ricerca ha voluto essere un primo passo verso un approccio multidisciplinare allo studio della problematica, ove le competenze epidemiologiche e di decision analysis vengano stabilmente integrate a quelle, già storicamente esistenti, di Medicina del Lavoro e Radiobiologia. Al fine di massimizzare la diffusione dei risultati raggiunti, il lavoro è stato pubblicato, in forma sintetica ed in lingua italiana, sulla rivista "Igiene e Sanità Pubblica" nel n. 60/2004.*

PROF. PIETRANTONIO RICCI  
*Presidente dell'Istituto Italiano  
di Medicina Sociale.*

# Capitolo I

## LA RICERCA IN SINTESI

### Premessa

In seguito alla pubblicazione del DM 488/2002, le cui indicazioni in materia di giudizio di idoneità al lavoro sono state unanimemente giudicate controverse, il dibattito scientifico sul tema della radioprotezione e degli effetti stocastici sulla salute delle radiazioni, siano esse ionizzanti, ultraviolette o luce laser, è riemerso prepotentemente all'attenzione generale. In questo scenario, nel febbraio dell'anno 2003, l'Istituto Italiano di Medicina Sociale ha ritenuto opportuno finanziare un progetto di ricerca, della durata prevista di mesi 12, finalizzato allo studio dell'esposizione lavorativa alle radiazioni ionizzanti, ultraviolette e nell'utilizzo di luce laser.

Tale progetto, del quale il presente report riassume i risultati raggiunti, ha avuto il compito di rispondere all'esigenza di una ridefinizione chiara, sulla base delle conoscenze scientifiche attuali, ovvero su criteri maggiormente basati sui dati epidemiologici e meno sui modelli di ipotesi di proiezione del rischio (oggi centrali), delle condizioni patologiche effettivamente legate all'esposizione alle radiazioni ionizzanti, ultraviolette e al laser.

Questo passaggio rappresenta, di fatto, il primo passo essenziale ai fini di un successivo, ed altrettanto necessario, riesame dei criteri normativi, degli adeguati interventi di sanità pubblica, nonché delle implicazioni in tema di Medicina Legale e del Lavoro.

### Relazione e obiettivi

Sono ad oggi ben noti e definiti gli effetti clinici acuti, definiti dal ICRP<sup>(1)</sup> quali danni deterministici (con soglia), delle radiazioni ionizzanti, ultraviolette e dei fasci di luce laser.<sup>(2-5)</sup> Diverso appare il quadro relativo agli effetti somatici e genetici stocastici, conseguenti ad esposizioni anche di bassa entità, la cui incidenza è caratterizzata da una relazione dose-probabilità, non dipendente da soglia.

Sebbene siano state raggiunte evidenze inequivocabili del potere cancerogeno delle radiazioni ionizzanti, tanto che lo IARC<sup>(6)</sup>, da molti anni, le ha collocate in classe 1 come "agenti cancerogeni per l'uomo", i risultati degli studi epidemiologici finora condotti evidenziano un quadro più complesso, ed in alcuni ambiti controverso.

A fronte di alcune patologie, per le quali esiste oggi una relativa certezza di aumento significativo dell'incidenza in caso di esposizione a dosi medie di radiazioni ionizzanti, quali ad esempio il melanoma, quasi tutte le forme di leucemie o le neoplasie ossee<sup>(6-14)</sup>, non è stato ancora raggiunto un livello di evidenza sufficiente, soprattutto alle attuali dosi – molto basse – di esposizione lavorativa, per molte altre condizioni patologiche, quali ad esempio i tumori epatici o le malattie genetiche, sia disvitali che non, nella progenie di soggetti esposti. <sup>(15-23)</sup>

Altrettanto acceso risulta essere il dibattito per ciò che concerne le radiazioni ultraviolette ed i raggi laser, dei quali sono ben conosciuti e studiati gli effetti dannosi di esposizioni a dosi elevate a carico della cute (es. neoplasie, invecchiamento) e degli occhi (es. cataratta per gli UV, fotocheratite), mentre meno provata risulta l'associazione di tali patologie con esposizioni croniche di bassa intensità. <sup>(24-45)</sup>

Per tutti e tre gli agenti fisici in oggetto, nonostante il numero elevatissimo di studi condotti<sup>(7-12, 15-20, 24-40, 46-49)</sup> ed i notevoli progressi ottenuti, gli studi scientifici individuali hanno mostrato spesso, nell'investigare la correlazione con alcune patologie:

- risultati contrastanti;
- risultati poco significativi in termini di forza dell'associazione;
- risultati desunti da sperimentazioni condotte su campioni selezionate non particolarmente rappresentativi della popolazione di lavoratori cui tali risultati sono destinati;
- mancanza della potenza statistica sufficiente ad indicare un trend chiaro.

Tuttavia, avendo la normativa europea, e conseguentemente quella italiana<sup>(50-55)</sup>, accolto di fatto il principio ALARA (As low As Reasonably Achievable), secondo il quale “le esposizioni ionizzanti devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenendo conto dei fattori economici e sociali”, sono state recentemente incluse nella definizione di malattie derivanti dall'esposizione professionale a radiazioni un'ampia serie di patologie<sup>(51)</sup>, per molte delle quali tale legame è ancora tutto da chiarire. Questo approccio ha accresciuto il livello di incertezza in materia, generando un certo grado di confusione in tema di Medicina Legale, relativamente alla valutazione delle cause di servizio, e nell'ambito della Medicina del Lavoro, relativamente alla sorveglianza sanitaria e alla concessione di idoneità al lavoro per i soggetti esposti.<sup>(56)</sup>

E' apparsa quindi un'esigenza prioritaria tentare di chiarire, per alcune patologie di particolare interesse, in primo luogo quali effetti stocastici siano da considerare realmente connessi all'esposizione lavorativa a radiazioni ionizzanti, ultraviolette e a raggi laser. Secondariamente, sulla base scientifica ottenuta, è opportuno definire anche quali lavoratori, con quali pattern di esposizione, siano effettivamente a rischio d'insorgenza di quali condizioni patologiche

Con tali motivazioni, il presente lavoro è stato finalizzato al raggiungimento degli obiettivi di seguito elencati, attraverso uno schema metodologico basato

su diversi passaggi in rigorosa sequenza temporale, tipicamente applicato per le analisi decisionali in ambiti di programmazione e gestione sanitaria.

1. Identificazione dei principali effetti per la salute, somatici stocastici (ovvero non genetici, non dipendenti da soglia, a medio e lungo termine), associati all'esposizione diretta e indiretta alle radiazioni ionizzanti, ultraviolette, e alle sorgenti laser. Questo obiettivo comprendeva la valutazione della forza dell'associazione, in termini di Standardized Mortality o Incidence Ratios, per ogni condizione patologica individuata, e dei livelli di evidenze scientifiche sottostanti. A tale scopo era prevista l'impostazione di una ricerca strutturata della letteratura scientifica nazionale e internazionale, lo svolgimento di tre distinte meta-analisi, ed opportune sub-group analysis, su ognuno degli agenti fisici in esame, per le condizioni patologiche il cui studio risulti prioritario.

2. Identificazione delle tipologie di lavoratori esposti e definizione dei rischi realmente connessi allo svolgimento dell'attività lavorativa (probabilità d'insorgenza), considerando il tipo di radiazione, le dosi e le modalità di contatto con la sorgente.

3. Identificazione, secondo logica analoga e correlata, per gli ambiti identificati di interesse prioritario (ovvero ove vi sia un alto grado d'incertezza, relativamente all'associazione con una patologia la cui severità clinica sia rilevante) quali condizioni patologiche possono ritenersi associate a quali professioni, e la relativa probabilità d'insorgenza.

4. Valutazione delle correnti misure adottate per la radioprotezione dei lavoratori in studio, allo scopo di verificarne l'appropriatezza e di formulare, eventualmente, proposte integrative o alternative per interventi sull'organizzazione del lavoro o sulla gestione delle apparecchiature. A tale scopo, è stata prevista l'integrazione delle conclusioni dei punti precedenti con una approfondita revisione delle misure di protezione oggi adottate a livello internazionale, delle linee guida AIRM/ICNIRP sulla sorveglianza sanitaria, nonché della normativa in materia, di cui al punto successivo.

5. Verifica della legislazione vigente relativa all'impiego di apparati tecnologici che utilizzano o producono radiazioni ionizzanti, ultraviolette, o luce laser – ovvero dei DL 626/94 (e attuativi), DL 230/95 (e attuativi), DL 187/2000 e DM 488/2002 – e proposta di eventuali modifiche normative, ove necessario, con particolare attenzione allo sviluppo di sinergie con istituzioni pubbliche competenti, anche ai fini della impostazione di eventuali campagne di educazione sanitaria.

## **Materiali e metodi**

Gli autori hanno svolto una ricerca strutturata della letteratura scientifica nazionale e, soprattutto, internazionale, mediante l'analisi delle banche dati MedLine, Embase, DARE, e attraverso l'ausilio di colleghi esperti. In breve,

secondo un criterio di massima sensibilità, sono state utilizzate le seguenti parole chiave: “leukemia, leukaemia, cancer, carcinogenesis, cancerogenicity, mortality, health effects” + “irradiation, radiation, x-ray, nuclear, atomic, cosmic, uranium, pilots, flight, aircrew”, “UV radiation, ultra-violet, laser”. Sono stati considerati pertinenti e ottenuti tutti gli articoli che soddisfacevano i seguenti criteri di inclusione:

- lingua inglese o italiana;
- data di pubblicazione compresa tra il gennaio 1966 ed il luglio 2003;
- presenza di almeno uno studio epidemiologico (descrittivo, cross-sectional, caso-controllo, di coorte, analisi di popolazione, meta-analisi, review sistematica o review con metodi quantitativi) nel quale sono stati valutati gli effetti sulla salute a lungo termine (classicamente detti stocastici – non dipendenti da soglia) delle radiazioni ionizzanti a basse dosi (ovvero non superiori a 500 mGy/ o 500 mSv/anno).

Sono state esaminate, inoltre, alcune review particolarmente significative quali fonti di ulteriori studi. La bibliografia di tutti gli articoli ottenuti è stata revisionata alla ricerca di lavori aggiuntivi.

La ricerca ha portato al ritrovamento di:

- 321 studi sulle radiazioni ionizzanti. Nonostante il numero elevato, questo gruppo ha rappresentato comunque una selezione particolarmente mirata dei soli lavori che hanno soddisfatto tutti i criteri di inclusione citati.
- 52 studi sulle radiazioni ultraviolette.
- 18 studi sui raggi laser.

Data la mole prevalente ed il maggior rilievo da un punto di vista prettamente sanitario, è stata data priorità alla ricerca sulle radiazioni ionizzanti, riservando in una seconda fase l'approfondimento sugli altri due temi oggetto di studio.

E' stato creato, quindi, un database specifico, contenente tutti i richiami bibliografici e le informazioni di interesse estratte per ogni studio inerente le R.I.<sup>a</sup> oltre ad una maschera automatica di prelievo dati per l'inserimento in eventuali analisi quantitative. Entrambi gli strumenti sono stati trasferiti all'Istituto Italiano di Medicina Sociale.

Poiché molte delle analisi che hanno valutato gli effetti delle radiazioni ionizzanti a basse dosi sono rappresentate da studi di coorte con follow-up particolarmente lunghi (fino a 60 anni), spesso gli autori hanno pubblicato più volte, ad intervalli temporali variabili (5-10 anni), i risultati relativi alla stessa coorte di soggetti. Di conseguenza, si è resa necessaria una successiva ampia selezione,

---

<sup>a</sup> In specifico: anno di pubblicazione, anno di inizio e fine del follow-up, disegno e nazione di svolgimento dello studio, numero di soggetti inclusi e person years (per gli studi di coorte), tipo di radiazioni, tipo di esposizione, attività lavorativa degli inclusi (quando presente), dose di esposizione, outcomes principali con relativi numeri di casi attesi/osservati, (quando non indicati, SIR o SMR o, eventualmente, RRs).



particolarmente complessa (per via di pubblicazioni su differenti outcomes, con differenti autori), volta ad escludere tutti quei dati che erano stati in seguito aggiornati da analisi comprendenti ulteriori anni di follow-up. Sebbene nel database siano comunque inclusi tutti gli studi, per fini di completezza e tracciabilità dei dati, lo studio è stato quindi limitato a 242 lavori.

E' da precisare che un approccio così ampio da un punto di vista epidemiologico, allo scopo di raggiungere una visione particolarmente vasta e dettagliata della letteratura mondiale sull'argomento, ha inevitabilmente portato ad una limitazione degli sforzi verso la metodologia della revisione; ad esempio, limitando la valutazione della qualità metodologica agli aspetti fondamentali della conduzione dello studio. Tuttavia, la qualità degli studi concernenti le radiazioni si è rivelata, probabilmente proprio perché materia intensamente studiata, particolarmente elevata, sebbene gravi carenze si siano osservate in fase di presentazione dei dati. Inoltre, l'ambito di ricerca epidemiologica è stato ritenuto punto centrale di tutto lo studio, poiché su di esso si sono dovute basare necessariamente tutte le successive considerazioni di appropriatezza o meno delle misure di radioprotezione e delle norme giuridiche.

Un'azione tesa alla raccolta della massima quantità di informazioni disponibili è tanto più indicata nel contesto di una problematica clinica, quale quella delle radiazioni ionizzanti a base dosi, sulla quale sono stati condotti numerosissimi studi, che hanno portato di frequente a risultati diametralmente opposti, a loro volta fonte di opinioni contrastanti. In tal senso, le possibili spiegazioni di questo quadro variegato addotte dai massimi esponenti internazionali (13,57-59) hanno chiamato in causa i limiti dell'epidemiologia nel poter valutare un fenomeno che ha frequenze di eventi correlati molto ridotte, per patologie in aggiunta spesso rare, e difficoltà ancor più serie nella fase di determinazione della dose di esposizione e delle variabili di confondimento.

Tutte le attività elencate sono state condotte in tutti i loro passaggi metodologici sotto la attenta e rigorosa supervisione scientifica del Dott. Lamberto Manzoli e del Dott. Giovanni Maria Pirone. Su indicazione degli stessi, il lavoro del gruppo di ricerca, cui si riferisce presente libro, si è concentrato sulla tematica relativa alle radiazioni ionizzanti a basse dosi, rimandando l'approfondimento delle altre due ad un successivo eventuale progetto. Tale decisione si è resa inevitabile per garantire, in tempi ragionevoli, una qualità elevata nell'analisi di un problema di sanità pubblica estremamente complesso, oggetto di innumerevoli studi, di difficile interpretazione in entrambe le sue componenti clinica e genetica, infine con implicazioni legali e politiche elevatissime. Durante lo svolgimento del progetto, è via via apparso chiaro che, dovendosi confrontare con un dibattito scientifico di livello elevatissimo, qualunque conclusione che non fosse stata basata su un altrettanto alto livello metodologico avrebbe avuto senso alcuno.

Le conclusioni finali, i risultati dell'analisi, nonché gli obiettivi raggiunti nel progetto, sono stati riportati in una pubblicazione dal titolo "Attuali evidenze epi-

demiologiche in tema di radiazioni ionizzanti a basse dosi ed implicazioni in tema di Radioprotezione, Sanità Pubblica e Medicina Legale”, sulla rivista “Igiene e Sanità Pubblica”, indicizzata in MedLine come “Ig Sanita Pubbl 2004;60:81-102”. L’articolo è allegato nella sua interezza (Allegato A). Tali conclusioni non saranno di conseguenza qui ripetute.

Parallelamente alla revisione della letteratura, i cui risultati sono riportati nel paragrafo successivo, è stato condotto un esame delle misure di radioprofilassi e della legislazione vigente, che rappresenta la base conoscitiva per la valutazione della concordanza tra le conoscenze mediche attuali e l’appropriatezza del corrente contesto giuridico in tema di radioprotezione. I punti principali di tale revisione sono esposti nel secondo allegato.

### **Risultati della ricerca bibliografica**

In primo luogo, la definizione stessa di “basse dosi”, è attualmente oggetto di discussione. Ai fini del presente lavoro, sebbene l’attuale posizione maggioritaria consideri un’esposizione non superiore a 250-300 mGy o mSv quale limite per bassa dose, abbiamo deciso di considerare tutti gli studi nei quali fosse riportata, o fosse ragionevolmente presumibile, una dose di esposizione uguale od inferiore a 1000 mGy o 1000 mSv per anno.

Inoltre, con finalità di sintesi, precedentemente ad una valutazione completa, i dati più avanti riportati sono riferiti ad un core di 111 studi, che rappresentano una selezione dei più significativi per ognuno degli ambiti lavorativi di seguito riportati.

Per ciò che concerne l’identificazione delle categorie professionali a rischio, in breve, si possono individuare 4 grandi gruppi di lavoratori che sono classicamente considerati esposti a basse dosi di radiazioni ionizzanti (RI):

1. radiologi, personale tecnico di radiologia, medici e dentisti che utilizzano sorgenti di RI a scopo diagnostico o terapeutico;
2. piloti o equipaggio di aerei (poiché esposti ad elevate quantità di radiazione cosmica);
3. personale tecnico di supporto alla lavorazione dell’Uranio o alla manutenzione delle centrali atomiche, o ancora a personale dell’esercito impiegato in sommergibili atomici o nella sperimentazione di armi atomiche;
4. minatori in aree in cui vi sono elevate concentrazioni di Radon, Radium, o altri elementi radioattivi.

Di conseguenza, un grande numero di studi è stato condotto su campioni di questi lavoratori. Tuttavia, al fine di una più completa comprensione degli effetti sulla salute delle RI, è stato ritenuto opportuno considerare anche le analisi che sono state svolte su diverse categorie di soggetti, e che hanno rappresentato

storicamente una fonte di grande importanza scientifica per la descrizione dei danni da RI:

5. pazienti trattati con radiazioni per la cura di patologie o per scopi diagnostici;
6. sopravvissuti alle bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki;
7. soggetti esposti ad incidenti di alcune centrali atomiche (Chernobyl, in particolare);
8. individui residenti in abitazioni ad alto contenuto di Radon od in prossimità di impianti nucleari.

Di seguito, sono illustrate alcune tavole in cui sono schematizzati i risultati relativi agli outcomes di maggiore interesse: mortalità per tutte le cause, mortalità per cancro, incidenza di cancro, incidenza di neoplasie specifiche (in particolare: leucemia, neoplasia polmonare, carcinoma mammario, cancro della tiroide), mortalità per le stesse neoplasie, incidenza e/o mortalità per cause non tumorali.

**Tavola 1.** Studi relativi a radiologi, personale tecnico di radiologia, medici e dentisti che utilizzano sorgenti di RI a scopo diagnostico o terapeutico.

N. Studi	Disegno	N. soggetti totali	PY <sup>1</sup> totali	Risultati delle analisi	N. soggetti per risultato	PY per risultato
9	Corte = 4 Caso-cont. = 1 Cross-sect. su corte = 4	465.763	9.228.714	1 = Significativi 5 = Non significativi 3 = Significativo effetto positivo (healthy worker effect)	90.305 158.150 217.308	2.620.191 6.608.523

1. In tutte le tabelle, PY = *person-years* (anni-persona di osservazione).

**Tavola 2.** Studi relativi a piloti o equipaggio di aerei.

N. Studi	Disegno	N. soggetti totali	PY totali	Risultati delle analisi	N. soggetti per risultato	PY per risultato
18	Corte = 9 Caso-cont. = 2 Cross-sect. = 1 Record linkage = 4 Proportional Mortality Ratio = 2	210.082	2.655.414	7 = Significativi, almeno per un outcome 8 = Non significativi 3 = Significativo effetto positivo (healthy worker effect)	71.782 127.234 11.066	- - -

**Tavola 3.** Studi relativi a personale tecnico di supporto alla lavorazione dell'Uranio o alla manutenzione delle centrali atomiche, o ancora a personale

dell'esercito impiegato in sommergibili atomici o nella sperimentazione di armi atomiche.

N. Studi	Disegno	N. soggetti totali	PY totali	Risultati delle analisi	N. soggetti per risultato	PY per risultato
18	Corte = 13 Cross-sect. = 1 Cross-sect. su-corte = 1 Caso-cont. = 2 Meta-analisi = 1	459.790	6.836.733	10 = Non significativi 8 = Significativo effetto positivo (healthy worker effect)	260.544 199.246	5.434.891 861.842

**Tavola 4.** Studi relativi a minatori in aree in cui vi sono elevate concentrazioni di Radon, Radium, o altri elementi radioattivi.

N. Studi	Disegno	N. soggetti totali	PY totali	Risultati delle analisi	N. soggetti per risultato	PY per risultato
3	Pooled analisi = 1 Meta-analisi = 1 Caso-cont. = 1	65.712	1.866.277	2 = Significativi 1 = Non significativi	1.503 64.209	838.933 1.027.344

**Tavola 5.** Studi relativi a pazienti trattati con radiazioni per la cura di patologie o per scopi diagnostici.

N. Studi	Disegno	N. soggetti totali	PY totali	Risultati delle analisi	N. soggetti per risultato	PY per risultato
9	Coorte = 8 Caso-Cont. = 1	174.177	4.785.292	1 = Significativi 1 = Al limite di significatività 1 = Solo a dosi > 20 mSv 6 = Non significativi	8.144 8.144 31.917 125.972	180.492 180.399 959.704 3.464.697

**Tavola 6.** Studi relativi a sopravvissuti alle bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki

N. Studi	Disegno	N. soggetti totali	PY <sup>1</sup> totali	Risultati delle analisi	N. soggetti per risultato	PY per risultato
4	Coorte = 4	337.176	14.331.662	3 = Significativi 1 = Solo a dosi > 20 mSv	252.837 84.339	11.335.825 2.995.837

**Tavola 7.** Studi relativi a soggetti esposti in seguito all'incidente di Chernobyl (residenti e lavoratori di supporto per il contenimento dei danni e per le operazioni di pulizia).

N. Studi	Disegno	N. soggetti totali	PY <sup>1</sup> totali	Risultati delle analisi	N. soggetti per risultato	PY per risultato
5	Cross-sect. = 2 Corte = 3	215.463	6.616.756	1 = Significativi 5 = Non significativi	167.862 47.781	6.378.756 23.800*

\* I PY in questo caso sono stati resi disponibili da un solo studio tra i non significativi, per cui il numero complessivo appare minore dei soggetti poiché riferito ad una sola analisi.

**Tavola 8.** Studi relativi a lavoratori esposti a basse dosi di RI senza distinzione di categoria professionale.

N. Studi	Disegno	N. soggetti totali	PY totali	Risultati delle analisi	N. soggetti per risultato	PY per risultato
7	Corte = 3 Caso-cont. = 2 Pool ed analisi = 1 Meta-analisi = 1	655.404	11.591.073	1 = Significativi 3 = Non significativi 3 = Significativo effetto positivo (healthy worker effect)	7.501 125.207 522.696	2.915.933 8.675.140

Va precisato che questi dati sono privi degli outcomes e non permettono, quindi, alcuna considerazione sui principali effetti per la salute. Tuttavia sono stati esposti poiché forniscono indicazioni utili relativamente alla grande variabilità dei risultati degli studi. Si notano, infatti, contesti in cui diverse analisi, basate su popolazioni enormi, rivelano effetti negativi delle RI, ed altrettanto importanti studi ottengono risultati privi di alcuna significatività statistica. Esposte nella pubblicazione, in allegato, la distinzione e la verifica dei valori degli Standardized Mortality Rates (SMR) o Standardized Incidence Rates (SIR) per ognuno degli outcomes di interesse in generale e per ciascuna categoria di lavoratori, con particolare attenzione per le 4 patologie precedentemente citate, che sono da tempo considerate patologie radio-sensibili.

Nel terzo allegato sono riportate le referenze bibliografiche complete degli articoli ottenuti, raggruppati per categoria di lavoratori cui sono riferiti. Per semplificarne la consultazione, tali citazioni sono ulteriormente suddivise, nell'ambito dello stesso gruppo, tra quelle effettivamente utilizzate per il presente report e quelle, seppur esaminate, non incluse perché ritenute meno rilevanti (in termini di outcomes) ovvero perché contenenti dati aggiornati.

## Scheda della ricerca

**Titolo:** Attuali evidenze epidemiologiche in tema di radiazioni ionizzanti a basse dosi ed implicazioni in tema di Radioprotezione, Sanità Pubblica e Medicina Legale.

**Title:** Current epidemiological evidence regarding the health effects of low-dose ionizing radiation. Implications for radiation protection, public health and forensic medicine.

**Autori:** Lamberto Manzoli, Ferdinando Romano, Francesco Schioppa, Cristian D'Ovidio, Vittorio Lodi, Giovanni Maria Pirone.

**Autore di riferimento per la corrispondenza:** Lamberto Manzoli, Sezione di Epidemiologia e Sanità Pubblica, Dipartimento di Medicina e Scienza dell'Invecchiamento, Università "G. d'Annunzio" di Chieti. Via dei Vestini, 5 – 66013, Chieti. Tel. (39)3474727282 – fax (39)08713554001 – e-mail: [lmanzoli@post.harvard.edu](mailto:lmanzoli@post.harvard.edu).

**Riassunto:** Nonostante siano stati estesamente studiati, gli effetti sulla salute delle radiazioni ionizzanti a basse dosi rimangono tuttora incerti. Con finalità di supporto alle politiche nazionali in tema di radioprotezione, l'Istituto Italiano di Medicina Sociale ha avviato un aggiornamento sullo stato dell'arte tramite lo svolgimento di un'ampia revisione della letteratura. A seguito di rigorosa selezione, sono stati estratti i dati di 302 studi. Un peso prioritario in sede decisionale, ma non esclusivo, è stato dato all'analisi con Standardized Incidence/Mortality Ratios ed agli studi su tutti i lavoratori esposti, sul personale sanitario o sulla flotta aerea, rispetto alle indagini sui sopravvissuti di Hiroshima/Nagasaki o Chernobyl, e a quelle su irradiati per motivi sanitari e su lavoratori in impianti nucleari. Consapevoli dei limiti dell'approccio epidemiologico, ed escludendo l'ambito inerente i danni da raggi cosmici, sui quali è necessaria ulteriore ricerca, gli autori concludono che un effetto nocivo di dosi inferiori a 100 mSv non può essere escluso; tuttavia, se tale effetto esiste, è sicuramente molto limitato. Sono discusse le implicazioni in tema di radioprotezione, sanità pubblica e medicina legale.

**Abstract:** The health effects of low-dose ionizing radiation have been widely studied, but remain uncertain. Up-to-date knowledge about epidemiologic evidence for potential human health effects of low dose ionizing radiation is important for revising national radiation protection legislation. This review, conducted by a multidisciplinary research team of the Italian Institute of Social Medicine,

evaluates epidemiologic studies published since July 2003. After careful selection, a total of 302 studies were reviewed. Greater emphasis was given to papers that analyzed data using standardized incidence and mortality ratios and to studies regarding occupational exposures in all workers, healthcare workers and air-crew members. Nevertheless, studies regarding A-bomb survivors of Hiroshima/Nagasaki, Chernobyl cleanup workers, patients exposed for medical reasons, and workers in nuclear plants were also included. Given the limitations of epidemiological studies and excluding the cosmic rays context, which requires further research, the authors conclude that harmful effects from exposures to ionizing radiation at doses lower than 100 mSv cannot be ruled out. Nevertheless, if any harmful health effects do exist, they are certainly very small. The implications for radiation protection, public health and forensic medicine are discussed.

**Parole chiave:** radiazioni ionizzanti, basse dosi, radioprotezione, sanità pubblica.

**Key words:** ionizing radiation, low-dose, radiation protection, public health.

**Ringraziamenti:** Gli autori desiderano esprimere la loro gratitudine al Dr. Vittorio Maio (Thomas Jefferson University - Philadelphia), per il valido contributo nello svolgimento della presente ricerca.

**Fondi:** Il presente progetto di ricerca è stato finanziato dall'Istituto Italiano di Medicina Sociale tramite il Bando di Ricerca n.2, del 19/12/2002.

## Capitolo II

### ATTUALI EVIDENZE EPIDEMIOLOGICHE IN TEMA DI RIBD

#### Premessa

“Di più, io credo, è noto sugli effetti delle radiazioni ionizzanti a basse dosi (RIBD), di quanto sia noto sulle conseguenze di nessun altro agente nocivo a basse dosi”. Con queste parole, nel luglio del 1998, Sir Richard Doll apriva il Congresso dei Radiologi britannici<sup>(1)</sup>. Eppure, oggi, ciò appare vero solo in parte. Sicuramente, le RIBD sono state massivamente studiate: da una stima risalente al 1981, effettuata dal General Accounting Office degli USA, a partire dal 1902 (data di prima osservazione della nocività delle radiazioni) più di 80.000 articoli scientifici sono stati pubblicati sull’argomento, con una spesa complessiva pari a 2 miliardi di euro<sup>(2)</sup>.

Tuttavia, pur essendo ben conosciuti gli effetti patogeni dell’esposizione ad alte dosi di radiazioni ionizzanti<sup>(3)</sup>, non si può certamente affermare che sui danni alla salute di dosi basse o molto basse delle stesse radiazioni (nell’ordine di 1-20 mSv/anno, ovvero quelle cui è attualmente soggetta la grande maggioranza di lavoratori esposti<sup>(4,5)</sup>) si sia raggiunto un relativo grado di certezza<sup>(6,7)</sup>. Al contrario, la questione è al centro di un acceso dibattito scientifico da più di due decenni<sup>(8-10)</sup>.

Da un lato, sulla base dei risultati derivanti in particolare dagli studi sui sopravvissuti a Hiroshima e Nagasaki<sup>(11,12)</sup>, vi sono i sostenitori della tesi chiamata Linear No-Threshold Hypothesis (LNT), secondo la quale la relazione tra dose di esposizione e aumento del rischio di eventi avversi, in particolare di insorgenza di tumore, è di tipo lineare<sup>(13-17)</sup>, e non esiste alcuna soglia minima sotto la quale le radiazioni ionizzanti non provocano danni per la salute. Questa ipotesi rappresenta il modello attualmente vigente a livello mondiale, su cui sono basate le attuali norme e misure preventive in tema di radioprotezione dettate dall’International Commission on Radiological Protection (ICRP), secondo il principio conservativo comunemente definito ALARA (As Low As Reasonably Achievable)<sup>(18,19)</sup>.

Dall’altro lato, i risultati di numerosi studi sia epidemiologici – in cui non si osserva alcun aumento del rischio per i soggetti esposti a basse dosi di radiazioni ionizzanti (RIBD)<sup>(ad es. 20-24)</sup> – sia genetici – nei quali si segnala l’esistenza di complessi meccanismi di riparazione del danno a carico del DNA in grado di attutirne gli effetti<sup>(25,26)</sup> – hanno portato diversi esperti in ambito nazionale ed internazionale ad esprimere pareri fortemente critici sulla validità della LNT,



soprattutto in relazione a dosi di esposizione inferiori a 100 mSv, per le quali le evidenze di un'assenza di danno sono particolarmente numerose<sup>(7,26,27)</sup>.

La questione riveste una particolare importanza, oltre che per l'ovvio interesse da parte della popolazione, chiamata a decidere sull'impiego o meno delle radiazioni ionizzanti, per le sue implicazioni in tema di radioprotezione e di medicina legale. In tali ambiti, nel contesto italiano, il recente DM 488/2001<sup>(28)</sup>, ove sono riportate indicazioni in materia di giudizio di idoneità al lavoro per gli esposti a RIBD, ha contribuito di recente ad acuire la problematica. Le difficoltà interpretative di tali indicazioni, e gli ampi margini discrezionali che queste lasciano nella valutazione di causa-effetto tra esposizione a RIBD e insorgenza di numerose patologie, hanno generato diverse perplessità e numerosi problemi attuativi<sup>(29)</sup>.

Sulla base di quanto finora esposto, appare evidente la necessità di un aggiornamento, su criteri che tengano in maggiore considerazione i dati epidemiologici o genetici rispetto ai modelli di proiezione del rischio (tutt'ora centrali)<sup>(7,30)</sup>, sullo stato dell'arte della ricerca in tema di effetti delle RIBD, con il duplice intento di identificare quali condizioni patologiche possono ragionevolmente ritenersi associate, e di fornire una stima del rischio. Una volta effettuato questo primo passo, essenziale, potrà essere svolto un altrettanto necessario riesame dei criteri normativi, delle misure di radioprotezione vigenti e, non ultimo, dei criteri secondo i quali impostare le valutazioni di malattia professionale in questo ambito.

Con tali obiettivi, l'Istituto Italiano di Medicina Sociale (IIMS) ha ritenuto opportuno avviare, nel febbraio del 2003, il progetto di ricerca "Esposizione lavorativa alle radiazioni ionizzanti: evidenze epidemiologiche, appropriatezza della normativa e delle vigenti misure di radioprotezione", la cui metodologia ed i cui risultati principali sono di seguito descritti.

## Metodologia della ricerca

La ricerca bibliografica, condotta secondo un criterio di massima sensibilità (Tavola 1), è stata svolta utilizzando le principali banche dati biomediche (MedLine ed Embase), i siti degli enti di settore (ICRP<sup>b</sup> e AIRM<sup>c</sup>), e mediante consultazione manuale delle riviste "Health Physics" e "Radiation Research". Sono stati considerati pertinenti e quindi ottenuti tutti gli articoli pubblicati a partire dal gennaio 1967, in lingua inglese o italiana, contenenti almeno uno studio epidemiologico nel quale siano stati valutati gli effetti sulla salute di esposizioni a basse dosi di radiazioni ionizzanti (non superiori ad 1 Gy o 1 Sv). La bibliografia di tutti gli articoli ritrovati è stata esaminata ed eventuali altri lavori d'interesse sono stati ottenuti. Inoltre, sono state raccolte diverse review particolarmente significative quali fonti aggiuntive di studi, e alcuni articoli di riferimen-

<sup>b</sup> International Commission on Radiological Protection: [www.icrp.org](http://www.icrp.org).

<sup>c</sup> Associazione Italiana di Radioprotezione Medica: [www.airm.it](http://www.airm.it).

to sugli effetti genetici delle radiazioni ionizzanti, essenziali per conseguire una visione generale della problematica in esame.

Al termine ultimo del 31 luglio 2003, una selezione degli articoli ottenuti ha portato alla creazione di un database finale contenente 302 lavori considerati rilevanti, suddivisi nei seguenti sottogruppi in base alla popolazione esaminata: studi su campioni di lavoratori di tutte le professioni classificate come suscettibili di esposizione lavorativa a RIBD (7); su personale sanitario che utilizza sorgenti di RIBD a scopo diagnostico/terapeutico (26); su piloti o equipaggio di aerei (32); su personale addetto alla lavorazione dell'Uranio o alla manutenzione degli impianti atomici, incluso il personale dell'esercito impiegato in sommergibili nucleari o nella sperimentazione di armi atomiche (78); su minatori in aree in cui vi sono elevate concentrazioni di Uranio, Radon, Radium, o altri elementi radioattivi (20); sui sopravvissuti alle esplosioni atomiche di Hiroshima e Nagasaki (16); su lavoratori addetti alle operazioni di pulizia e salvataggio o sulla popolazione residente del post-Chernobyl (17); su pazienti sottoposti a terapie o esami diagnostici che prevedono l'impiego di RIBD (42); su residenti in abitazioni ad elevato contenuto di Radon od in prossimità di impianti nucleari (20). Infine, è stata prevista un'ulteriore sezione comprendente gli studi sugli effetti a livello molecolare (18) e le review ritenute più significative (26). Il database, contenente le informazioni di interesse estratte da tutti i lavori<sup>d</sup>, e l'elenco completo delle referenze bibliografiche sono disponibili presso l'Istituto Italiano di Medicina Sociale.

La selezione degli articoli ottenuti si è resa necessaria poiché molte delle indagini inerenti le RIBD sono rappresentate da studi di corte con follow-up particolarmente lunghi (fino a 50-60 anni), ed i risultati relativi ad una singola corte di soggetti sono stati spesso pubblicati più volte, ad intervalli temporali variabili (5-10 anni). Per ovviare al bias derivante dalla moltiplicazione dei risultati su un unico gruppo di stessi soggetti, sono stati esclusi tutti gli studi in seguito aggiornati (sugli stessi outcomes), e solo i dati dei lavori più recenti sono stati considerati ed inclusi nella revisione.

L'aver preso in esame, ai fini della valutazione di ipotesi epidemiologiche sui soli lavoratori, un'ampia parte di letteratura scientifica che non è rivolta ad esposizioni di tipo professionale, è giustificato dalla considerazione che non sono documentate, e non sussistono a rigor di logica, differenze sostanziali tra i danni che una stessa dose di radiazione, somministrata in eguale intervallo temporale, può causare in seguito ad esposizione professionale o meno. Tuttavia, al di là di ovvie finalità di sintesi, nel presente lavoro uno spazio nettamente più ampio, ed un maggior peso ai fini delle conclusioni, è stato inevitabilmente assegnato agli studi relativi a personale sanitario, a piloti/equipaggio di aerei, e ai lavoratori in

---

<sup>d</sup> In specifico: anno di pubblicazione, anno di inizio e fine del follow-up, disegno e nazione di svolgimento dello studio, numero di soggetti inclusi e person years (per gli studi di coorte), tipo di radiazioni, tipo di esposizione, attività lavorativa degli inclusi (quando presente), dose di esposizione, outcomes principali con relativi numeri di casi attesi/osservati, (quando non indicati, SIR o SMR o, eventualmente, RRs).

genere, in quanto soddisfacenti tutti i criteri di priorità nell'analisi decisionale: si riferiscono ad esposizioni a RIBD prolungate nel tempo; sono condotti su adulti in età lavorativa; sono condotti su tipologie di lavoratori sufficientemente rappresentate nel contesto nazionale.

L'approccio utilizzato nella valutazione dei risultati degli studi epidemiologici ha inteso privilegiare, quando presenti, le stime derivate mediante il calcolo degli Standardized Mortality Ratios (SMRs) o degli Standardized Incidence Ratios (SIRs), piuttosto che quelle basate sugli Excess Relative Risks (ERRs). I primi esprimono una stima del rischio dei soggetti esposti in rapporto ad una popolazione di riferimento con uguali caratteristiche demografiche (comparazione esterna), mentre i secondi mostrano il trend di aumento del rischio in relazione alla dose di esposizione (comparazione interna). I tassi standardizzati possono risentire, in alcuni campioni di lavoratori, di un miglior livello di salute derivante dalla selezione di persone sane per quel tipo di professione (noto come *healthy worker effect*), e questo può mascherare i danni causati dalle RIBD. Tuttavia, il fatto che i valori di SIR/SMR siano rimasti costanti anche negli studi che, per derivarli, hanno svolto comparazioni con gruppi di lavoratori simili<sup>(31,32)</sup>, o hanno pesato per classe socio-economica<sup>(33,34)</sup>, ha portato il gruppo di ricerca a ritenerli indici più appropriati. E' innegabile, d'altronde, che se la dimostrazione di una relazione dose-effetto suggerisce la presenza di un'associazione, altra cosa è affermare che questa associazione sia realmente causa di un danno quando si riscontri un calo significativo di casi nella popolazione esposta rispetto ad un'altra, che non è dimostrata avere differenti caratteristiche, se non per l'appunto l'esposizione a RIBD. Di certo, quest'ultimo dato non può essere ignorato in sede di formulazione delle conclusioni<sup>(27,35)</sup>.

Successivamente alla ricerca ed alla valutazione epidemiologica, è stata condotta un'analisi approfondita della normativa e delle misure preventive attualmente in uso in tema di radioprotezione<sup>(28,36-41)</sup>, al fine di verificarne il livello di concordanza con quanto emerso sui rischi da RIBD. La discussione della revisione integrata epidemiologico-giuridica è riportata nelle conclusioni, che sono state circoscritte alle implicazioni essenziali di quanto evinto dall'insieme delle evidenze ottenute. Tale approccio sintetico si è reso doveroso per l'ampiezza e la complessità di questa materia, a carattere tipicamente multidisciplinare, una cui trattazione dettagliata è rimandata a successivi interventi.

E' utile precisare, infine, che non è stato praticabile su alcuno dei gruppi di studi esaminati lo svolgimento di un'analisi quantitativa (meta-analisi), sebbene ciò fosse inizialmente previsto con finalità di supporto e semplificazione delle conclusioni. Tale impedimento è stato dovuto a differenze metodologiche intrinseche agli studi (disegno dello studio, outcomes, misurazione degli esiti, dosi, tipo di esposizione e tipo di radiazione), come anche a lacune nella presentazione dei dati, spesso incompleta o poco chiara (soprattutto per ciò che concerne i casi attesi nella popolazione di riferimento negli studi di corte).

## Discussione delle evidenze ottenute

Nelle Tavole 2, 3 e 4 sono riportati i principali risultati dei lavori inclusi, suddivisi in base alla popolazione oggetto di studio. Tali indagini sono state condotte su campioni di soggetti appartenenti a 7 tipologie di esposti: sopravvissuti alle bombe atomiche in Giappone<sup>(11,12,42,43)</sup>; residenti e lavoratori impiegati nelle operazioni di pulizia del post-Chernobyl<sup>(44-49)</sup>; pazienti sottoposti a terapie/tecniche diagnostiche che impiegano RIBD<sup>(50-62)</sup>; lavoratori presso impianti nucleari<sup>(20,21,63-80)</sup>; tutte le categorie professionali considerate esposte a RIBD (Tavola 2)<sup>(34,81-85)</sup>; personale sanitario (Tavola 3)<sup>(22,31,33,86-91)</sup>; piloti/equipaggio di aerei (Tavola 4)<sup>(23,24,92-107)</sup>. Per i motivi accennati in precedenza, i dati degli studi inerenti le ultime due categorie di lavoratori sono riportati, in maggiore dettaglio, nelle Tavole 3 e 4. Per una descrizione più completa, sebbene non sempre aggiornata, di molti degli studi inclusi in queste tavole, sono disponibili alcune ottime review<sup>(108-113)</sup>.

Da quanto esposto in Tavola 2 si evince in primo luogo che:

- tutti gli studi sui sopravvissuti alle A-bomb documentano un chiaro effetto cancerogeno delle RIBD (generale e per tumori in sedi specifiche);
- due analisi tra le sei relative al post-Chernobyl segnalano, per gli esposti, una crescita significativa del rischio di cancro in generale<sup>(46)</sup> e della tiroide in particolare<sup>(45,48)</sup>;
- cinque degli otto studi condotti sugli esposti a radioterapie mostrano un aumento del rischio d'insorgenza di cancro: della mammella<sup>(50,57)</sup>, della tiroide<sup>(58,60)</sup> e di adenomi paratiroidi<sup>(61)</sup>.

Tuttavia, prima di effettuare un'inferenza di tali risultati alla popolazione generale di lavoratori esposti, occorre tenere in considerazione, al di là di altri fattori (quali ad esempio la natura estemporanea dell'esposizione), le dosi medie (a) e la presenza di una mole ancora maggiore di dati di segno opposto (b). Per ciò che concerne gli studi sui sopravvissuti giapponesi, infatti, le dosi di esposizione sono state quantificate in circa 250 mSv, ovvero un valore nettamente superiore a quello osservato nel 99% dei lavoratori esposti a RIBD in Italia (solo in casi eccezionali superiore a 10-15 mSv), ed il rischio per gli esposti a dosi inferiori è stato in seguito calcolato sulla base di questi dati, tramite modelli matematici<sup>(114)</sup>. Analogamente, le dosi medie dei soggetti irradiati per motivi sanitari sono state stimate quasi sempre superiori a 100 mGy, in certi casi arrivando fino a valori dell'ordine di 1 Gy. Selezionando solo quegli outcomes risultati significativi in studi dove le dosi medie non superano i 100 mSv, rimane documentata solo l'associazione tra RIBD e insorgenza di neoplasie della mammella e della tiroide. Per quest'ultima patologia, peraltro, l'aumento di casi in seguito al disastro atomico di Chernobyl è stato posto in serio dubbio, nell'ipotesi che sia stato causato da una sovradiagnosi determinata dai numerosi programmi di screening intrapresi negli anni successivi<sup>(113)</sup>. Inoltre, gli studi che

raggruppano più di due terzi dei soggetti irradiati per motivi sanitari (n=146.964) non hanno evidenziato alcuna relazione significativa con l'esposizione a RIBD.

Sempre in Tavola 2, un dato di assoluto rilievo è l'assenza di studi che documentano un aumento significativo del rischio di alcuna patologia tra i 20 condotti su lavoratori presso impianti nucleari ed i 6 sulla popolazione generale di lavoratori esposti. L'unica eccezione, tuttavia importante, è rappresentata da una recente analisi del registro canadese dei professionisti radioesposti, che mostra un'associazione significativa con l'insorgenza di melanoma e cancro della tiroide<sup>(85)</sup>. Nel complesso, comunque, lo scenario che emerge dai risultati degli studi condotti su questi ultimi due gruppi acquista un significato ancora maggiore se si considera che: il numero complessivo di partecipanti in queste indagini è elevatissimo (n=886.496); otto degli studi sui lavoratori negli impianti nucleari (n=199.246) mostrano addirittura un "healthy worker effect", ovvero una riduzione significativa del tasso di mortalità complessiva per i lavoratori esposti rispetto alla popolazione generale; tutte e tre le analisi su registri nazionali di lavoratori finora condotte segnalano anch'esse un significativo effetto protettivo delle RIBD rispetto all'outcome principale.

Non molto differente il quadro derivante dall'esame dei risultati dei nove studi rivolti a personale sanitario esposto (Tavola 3). Nonostante negli ultimi due anni siano stati pubblicati i dati di sei grossi studi di corte, per un totale di quasi 10 milioni di anni-persona di follow-up, non sono molti i riscontri di associazioni positive con l'esposizione a RIBD. Si nota, infatti, che l'outcome principale è risultato significativo in sole due indagini, delle quali una documenta un aumento del rischio per i soli individui esposti a dosi superiori a 110 mGy<sup>(88)</sup>, l'altra mostra un valore inferiore degli intervalli di confidenza pari a 1.00 (al limite, quindi, della significatività statistica)<sup>(91)</sup>. Inoltre, anche in questo ambito, diverse analisi evidenziano una riduzione della probabilità di insorgenza dell'outcome principale nei soggetti esposti a RIBD. Tuttavia, relativamente agli outcomes secondari, sono stati osservati in alcuni studi aumenti significativi del rischio di morte per cancro<sup>(33)</sup> e di insorgenza di melanomi<sup>(91)</sup>, neoplasie linfatiche<sup>(33)</sup>, della mammella<sup>(22,91)</sup> e della tiroide<sup>(91)</sup>.

Più variegato, in termini di risultati, l'insieme degli studi condotti su piloti o equipaggio di aerei (Tavola 4), per i quali non sono state riportate le dosi di esposizione, poiché le stime finora effettuate non hanno mai segnalato dosi medie superiori ai 2-10 mSv/anno<sup>(115)</sup>. Per ciò che concerne gli outcomes principali, i dati di quattro indagini (numero complessivo di partecipanti = 18.490) evidenziano, anche per questa categoria di lavoratori, la presenza di un "healthy worker effect", mentre cinque studi, di maggiore ampiezza (n=125.209), mostrano invece un significativo aumento del rischio. Inoltre, diverse analisi documentano una maggiore incidenza, nella flotta aerea rispetto alla popolazione generale, in particolare

---

e Anche se questo outcome è risultato significativo solamente quando sono stati usati i medici come popolazione di riferimento ( $p < 0.05$ ), mentre non è apparso tale nell'analisi pesata per classe socio-economica (33).

di: melanomi<sup>(92-96,100,102)</sup>, altre neoplasie cutanee<sup>(24,92-95,97)</sup>, cancro della mammella<sup>(99-101)</sup>, del cervello<sup>(96,97)</sup> e della prostata<sup>(96-98)</sup>. Nell'interpretare questi dati, occorre tenere presente, da un lato, la differente natura delle radiazioni cosmiche rispetto ai raggi-X o alle altre precedentemente considerate, dall'altro la possibilità, suggerita dagli stessi autori, che alcune di queste patologie non siano in realtà associate alle RIBD bensì ad altri fattori, quali l'alterazione dei ritmi circadiani, lo stile di vita o l'esposizione ad agenti chimici<sup>(110,116,117)</sup>. Tuttavia, l'analisi di queste evidenze, nel complesso, indica come altamente plausibile che un ruolo, per quanto ridotto, nell'insorgenza di alcune di queste condizioni morbose sia da imputare anche all'esposizione professionale a raggi cosmici.

## Conclusioni

### *Valutazione epidemiologica e considerazioni in tema di sanità pubblica*

Il fatto che, nonostante il numero elevatissimo di ricerche effettuate, ed in questa sede in parte richiamate, persistano seri dubbi sugli effetti delle radiazioni ionizzanti a basse dosi, evidenzia i molteplici limiti dell'approccio epidemiologico nello studio di questa problematica. Risulta di estrema importanza, infatti, in fase di interpretazione delle evidenze, tenere presenti i numerosi fattori e le fonti di distorsione che possono ridurre l'attendibilità e la significatività di uno studio su questa materia<sup>(6,109,112,118)</sup>. In primo luogo, il numero minimo di eventi attesi (ad esempio, se si valuta l'associazione tra RIBD e leucemie)<sup>f</sup> riduce inevitabilmente la potenza statistica dello studio e rende necessario esaminare un campione amplissimo per rilevare differenze significative tra esposti e non esposti<sup>(118,119)</sup>. Altri limiti di primaria importanza sono: difficoltà nell'estrapolare modelli di calcolo del rischio a basse dosi partendo dagli effetti osservati a dosi elevate (per gli studi sui sopravvissuti giapponesi)<sup>(27,120)</sup>; difficoltà nell'attribuzione della dose individuale di esposizione<sup>(109)</sup>; differenza di suscettibilità alle RIBD in base alle diverse età di esposizione<sup>(121,122)</sup>; presenza del "healthy worker effect" in studi condotti su lavoratori che sono selezionati e quindi presumibilmente più sani rispetto alla popolazione generale<sup>(112)</sup>; difficoltà di verifica, anche in presenza di un'associazione significativa, che questa sia effettivamente dovuta alle RIBD e non ad agenti chimici o ad altri fattori connessi allo stile di vita (fumo, esposizione solare, stress psicologico, etc.)<sup>(110,123)</sup>. Infine, per alcune categorie lavorative (quali ad esempio i radiologi o i lavoratori in impianti nucleari), una più elevata incidenza di certe patologie rispetto alla popolazione potrebbe derivare dal fatto che tali individui sono monitorati regolarmente ed hanno di conseguenza un maggiore accesso a fonti di diagnosi<sup>(91)</sup>.

---

<sup>f</sup> Tanto che, persino nei sopravvissuti alle esplosioni atomiche di Hiroshima e Nagasaki, si stima che solo l'1% dei decessi possa essere attribuito agli effetti delle radiazioni ionizzanti (12).



La serie di limiti citati, unita alla complessità della tematica in esame, costituiscono valide spiegazioni scientifiche, piuttosto che politiche<sup>(7)</sup>, per l'attuale mancanza di consenso. Tali difficoltà nel formulare un parere finale sono ampiamente emerse, peraltro, nel corso della presente revisione della letteratura scientifica, per quanto il più possibile estesa ed aggiornata.

In conclusione, con la significativa eccezione dei piloti/equipaggio di aerei, di cui si è discusso nei risultati, per dosi inferiori a 100 mSv – ovvero largamente entro i valori comunemente osservati nei lavoratori italiani – sono presenti alcune evidenze di aumento del rischio, in particolare, di cancro della mammella e della tiroide. Tuttavia, l'ampiezza ed il numero di studi di segno opposto è molto maggiore. Di conseguenza, tenendo ben presenti i limiti metodologici accennati, pur non potendo escludere un'azione lesiva delle radiazioni ionizzanti a queste dosi, non è possibile neppure sostenere che simile azione nociva sussiste. E' però sicuramente corretto affermare che, se un effetto negativo per l'esposizione a RIBD esiste, questo è molto limitato.

Da quanto esposto, risulta evidente la difficoltà estrema di fornire una risposta precisa al quesito su quali indicazioni possano trarsi per la popolazione e per le autorità sanitarie competenti. Alcune stime nazionali quantificano in circa 3000 unità il numero annuale di decessi attribuibili all'esposizione professionale o meno a radiazioni ionizzanti, escludendo il fondo naturale<sup>(124)</sup>. Tali valori, tuttavia, si basano esclusivamente sull'adozione dell'ipotesi di relazione dose-effetto di tipo lineare senza soglia e sui modelli di calcolo statistico derivati dall'analisi dei dati sugli effetti a dosi elevate. I risultati della presente ricerca suggeriscono un'estrema cautela nell'interpretare le stime derivate con tale metodologia, la quale sembra condurre a valutazioni ampiamente eccessive dei tassi specifici di mortalità. Per tali ragioni, potrebbe essere opportuno avviare un intervento informativo per ridurre il livello di percezione del rischio da parte della popolazione, tuttora molto elevata<sup>(125)</sup>. Con analoghe motivazioni, infine, dovendo inevitabilmente porre il quesito per gli operatori sanitari in un'ottica di razionalizzazione delle risorse<sup>(126)</sup>, le radiazioni ionizzanti a basse dosi non sembrano soddisfare i criteri per l'assegnazione della qualifica di priorità operativa, escludendo naturalmente da tale valutazione le autorità sanitarie specificamente preposte alla verifica del rispetto dei limiti di esposizione stabiliti per legge.

### *Radioprotezione e Medicina Legale*

Per ciò che concerne le implicazioni pratiche dei concetti sopra riportati, occorre operare una separazione netta, a nostro avviso, tra l'ambito di radioprotezione in senso stretto, e gli aspetti relativi al giudizio di idoneità o alla pratica medico-legale di valutazione di malattia professionale. Nel primo caso, infatti, in assenza di evidenze scientifiche sufficienti ad escludere un danno provocato dalla esposizione a radiazioni ionizzanti a dosi inferiori a 100 mSv, i limiti di

dose stabiliti nei D.Lgs. 230/95 e 241/2000 (riportati in Tavola 5)<sup>(36,38)</sup>, e le misure correntemente utilizzate per garantirne il rispetto<sup>(37,41)</sup>, appaiono complessivamente appropriati, poiché si ritiene condivisibile l'attuale approccio conservativo, finalizzato alla riduzione preventiva, per quanto possibile, del rischio di eventi avversi. Sebbene venga confermato che non vi sono riscontri scientifici oggettivi per giustificare un differenziamento delle soglie massime potenziali (6 mSv) oltre le quali un lavoratore viene classificato in una categoria differente di rischio (A vs B)<sup>(127,128)</sup>, tale procedura risponde a logiche di semplificazione burocratica ma non appare una causa di seria preoccupazione.

Viceversa, laddove ci si trovi a formulare una decisione di merito sulla sospensione dell'attività lavorativa di un soggetto esposto, o sulla sussistenza di un nesso causale tra l'esposizione a RIBD e l'insorgenza di una patologia, le considerazioni precedenti, basate sui dati scientifici oggi disponibili, dovrebbero esitare in una condotta differente. Relativamente al settore della Medicina del Lavoro, appare giustificato attenuare l'inviolabilità del modello LNT, anche considerando che i massimalismi radioprotezionistici che ne derivano influenzano, spesso irrazionalmente, la percezione del rischio ed i conseguenti costi economici e sociali<sup>(7,30)</sup>. Per ciò che riguarda le implicazioni medico-legali, non essendo riconosciuto in campo peritale il diritto al libero convincimento, e dovendo essere il parere tecnico motivato e la motivazione fondata su precise basi scientifiche, secondo criteri di certezza o probabilità<sup>(129)</sup>, si deve supporre che l'espressione di un giudizio vincolante sia basato su un ragionevole grado di certezza dell'esistenza di un rapporto causa-effetto, piuttosto che sull'assenza di una chiara negazione. L'attuale stato delle evidenze epidemiologiche non permette la definizione di un elenco di patologie per cui i criteri di probabilità sono soddisfatti a priori, ed appare pertanto necessario, in ogni situazione, l'esame approfondito del singolo caso e del contesto specifico in cui l'individuo si è trovato ad operare. Per tali motivi, qualunque tentativo odierno di ricondurre la problematica in uno schema più o meno aperto di condizioni morbose correlate alle RIBD, quale quello rappresentato dal DM 488/2001, è destinato a suscitare più di una perplessità e, soprattutto, più di una difficoltà in fase applicativa, potendo provocare una serie di effetti opposti a quelli per cui è stato pensato<sup>(29)</sup>. Tenendo conto anche delle informazioni epidemiologiche ivi fornite, una revisione del suddetto Decreto, ed in particolare dell'art. 3 (e relativo allegato tecnico), è da ritenersi sicuramente opportuna.



**Bibliografia**

1. Doll R. Effects of small doses of ionising radiation. *J Radiol Prot* 1998;18:163-74.
2. Yalow RS. Concerns with low-level ionizing radiation. *Mayo Clin Proc* 1994;69:436-40.
3. IARC. Ionizing radiation, Part I: X- and Gamma-Radiation, and Neutrons. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans 1999;75.
4. Land CE. Uncertainty, low-dose extrapolation and the threshold hypothesis. *J Radiol Prot* 2002;22:A129-35.
5. Mozzo P, Predicatori F. La radioprotezione degli operatori: norme interne di sicurezza, controlli dosimetrica e valutazione dei carichi di lavoro. Pubblicazione n. 24 AIRM. Roma: AIRM, 1997.
6. Modan B. Low-dose radiation carcinogenesis. *Eur J Cancer* 1992;28A:1010-2.
7. Tubiana M. Radiation risks in perspective: radiation-induced cancer among cancer risks. *Radiat Environ Biophys* 2000;39:3-16.
8. Mole RH. Ionizing radiation as a carcinogen: practical questions and academic pursuits The Silvanus Thompson Memorial Lecture delivered at The British Institute of Radiology on April 18, 1974. *Br J Radiol* 1975;48:157-69.
9. Schull WJ. Radiation risk estimation. *Sci Total Environ* 1992;127:1-8.
10. Abelson PH. Risk assessments of low-level exposures. *Science* 1994;265:1507.
11. Thompson DE, Mabuchi K, Ron E, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1958-87. *Radiat Res* 1994;137:S17-67.
12. Pierce DA, Shimuzu Y, Preston DL, Vaeth M, Mabuchi K. Studies on the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990. *Radiat Res* 1996;146:1-27.
13. OECD. Report on developments in radiation health science and technology and their impact on radiation protection. Nuclear Energy Agency Committee on Radiation Protection and Public Health. Paris: OECD, 1998.
14. UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. Vol. II Effects, Annx 1: Epidemiological evaluation of radiation-induced cancer. New York: United Nations, 2000.
15. Puskin JS, Nelson NS. Risks from low doses of radiation. *Science* 1996;272:631.
16. Beninson D. Risk of radiation at low doses. *Health Phys* 1996;71:122-5.
17. Upton A. The state of the art in the 1990's: NCRP Report no. 136 on the scientific bases for linearity in the dose-response relationship for ionizing radiation. *Health Phys* 2003;85:15-22.
18. International Commission on Radiological Protection. Recommendation of

- the International Commission on Radiological Protection. Report 60, Annals of the ICRP, Vol. 21, n.1-3. Oxford: Pergamon Press, 1991.
19. Pochin EE. Radiation risks in perspective. *Br J Radiol* 1987;60:42-50.
  20. Auvinen A, Pukkala E, Hyvonen H, Hakama M, Rytomaa T. Cancer incidence among Finnish nuclear reactor workers. *J Occup Environ Med* 2002;44:634-8.
  21. Iwasaki T, Murata M, Ohshima S, et al. Second analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan, 1986-1997. *Radiat Res* 2003;159:228-38.
  22. Mohan AK, Hauptmann M, Freedman MD, et al. Cancer and other causes of mortality among radiologic technologists in the United States. *Int J Cancer* 2003;103:259-67.
  23. Zeeb H, Blettner M, Hammer GP, Langner I. Cohort mortality study of German cockpit crew, 1960-1997. *Epidemiology* 2002;13:693-99.
  24. Zeeb H, Blettner M, Langner I, et al. Mortality from cancer and other causes among airline cabin attendants in Europe: a collaborative cohort study in eight countries. *Am J Epidemiol* 2003;158:35-46.
  25. Tanooka H. Threshold dose-response in radiation carcinogenesis: an approach from chronic beta-irradiation experiments and a review of non-tumour doses. *Int J Radiat Biol* 2001;77:541-51.
  26. Pollycove M, Feinendegen LE. Radiation-induced versus endogenous DNA damage: possible effect of inducible protective responses in mitigating endogenous damage. *Hum Exp Toxicol* 2003;22:290-306.
  27. Cohen BL. Cancer risk from low-level radiation. *Am J Roentgenol* 2002;179:1137-43.
  28. D.M. 11 giugno 2001, n. 488. Regolamento recante criteri indicativi per la valutazione dell'idoneità dei lavoratori all'esposizione alle radiazioni ionizzanti. In G.U. del 5 aprile 2002, n. 80.
  29. Lodi V, Nucci MC, Cicognani A, Ingravallo F, Violante FS, Raffi GB. Patologia neoplastica ed esposizione a radiazioni ionizzanti: idoneità alla mansione specifica. Atti del Congresso Nazionale ANMeLP "Le idoneità difficili", Abano Terme, 2002.
  30. Righi E. Il problema delle piccole dosi nel contesto della radioprotezione. Lettura Magistrale presentata al Congresso "Radioprotezione dei pazienti e dei lavoratori in ambiente sanitario", Cremona, Maggio 1999.
  31. Logue JN, Barrick MK, Jessup GL. Mortality of radiologists and pathologists in the Radiation Registry of Physicians. *J Occup Med* 1986;28:91-9.
  32. Matanoski GM. Health effect of low level radiation in shipyard workers: final report. Report n. DOE DEAC02-79 EV10095. Washington DC: United States Department of Energy, 1991.
  33. Berrington A. 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997. *Br J Radiol* 2001;74:507-19.
  34. Muirhead CR, Goodill AA, Haylock RGE, et al. Occupational radiation

- exposure and mortality: second analysis of the National Registry for Radiation Workers. *J Radiol Prot* 1999;19:3-26.
35. Daunt N. Decreased cancer mortality of British radiologists. *Brit J Radiol* 2002;75:639-40.
  36. 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. Disponibile al sito: [www.airm.it](http://www.airm.it).
  37. D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 187. Attuazione della direttiva 43/97/EURATOM riguardante la protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse a esposizioni mediche. Disponibile al sito: [www.airm.it](http://www.airm.it).
  38. D.Lgs. 26 maggio 2000, n.241. l'attuazione della Direttiva 29/96/Euratom che stabilisce le norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Disponibile al sito: [www.airm.it](http://www.airm.it).
  39. D.Lgs. 9 maggio 2001, n. 257. Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241, recante attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Disponibile al sito: [www.airm.it](http://www.airm.it).
  40. Vergine AL, Giroletti E. Radiazioni ionizzanti, protezione della popolazione, dei lavoratori e dei pazienti. Napoli: Esselibri S.p.A. editore, 2003.
  41. Breuer F, Di Pofi M, Righi E, Strambi E. Linee guida per gli accertamenti diagnostici nella sorveglianza medica dei lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti. Pubblicazione AIRM n. 21. Roma: AIRM, 1995.
  42. Preston DL, Kusumi S, Tomonaga S. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat Res* 1994;137:S68-97.
  43. Land CE, Saku T, Hayashi Y, et al. Incidence of salivary gland tumors among atomic bomb survivors, 1950-1987. Evaluation of radiation-related risk. *Radiat Res* 1996;146:28-36.
  44. Mettler FA, Williamson MR, Royal HD, et al. Thyroid nodularity in the population living around Chernobyl. *JAMA* 1992;268:616-9.
  45. Ivanov VK, Tsyb AF, Gorsky AI, et al. Thyroid cancer among "liquidators" of the Chernobyl accident. *Br J Radiol* 1997;70:937-41.
  46. Ivanov VK, Rastopchin EM, Gorsky AI, Ryvkin VB. Cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: solid tumors, 1986-1995. *Health Phys* 1998;74:309-315.
  47. Inskip PD, Hartshorne MF, Tekkel M, et al. Thyroid nodularity and cancer among Chernobyl cleanup workers from Estonia. *Radiat Res* 1997;147:225-35.
  48. Ivanov VK, Tsyb AF, Nilova EV, et al. Cancer risks in the Kaluga oblast of the Russian Federation 10 years after the Chernobyl accident. *Radiat*

- Environ Biophys 1997;36:161-7.
49. Rahu M, Tekkel M, Veidebaum T, et al. The Estonian study of Chernobyl cleanup workers: II. Incidence of cancer and mortality. *Radiat Res* 1997;147:653-57.
  50. Hancock SL, Tucker MA, Hoppe RT. Breast cancer after treatment of Hodgkin's disease. *J Natl Cancer Inst* 1993;85:25-31.
  51. Inskip PD, Ekblom A, Galanti MR, Grimelius L, Boice JD. Medical diagnostic x-rays and thyroid cancer. *J Natl Cancer Inst* 1995;87:1613-21.
  52. Damber L, Larsson LG, Johansson L, Norin T. A cohort study with regard to the risk of haematological malignancies in patients treated with X-rays for benign lesions in the locomotor system. *Acta Oncol* 1995;34:713-19.
  53. Howe GR. Lung cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate-dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with lung cancer mortality in the Atomic Bomb survivors study. *Radiat Res* 1995;142:295-304.
  54. Schneider AB, Gierlowski TC, Shore-Freedman E, Stovall M, Ron E, Lubin J. Dose-response relationships for radiation-induced hyperparathyroidism. *J Clin Endocrinol Metabol* 1995;80:254-57.
  55. Hall P, Mattsson A, Boice JD. Thyroid cancer after diagnostic administration of iodine-131. *Radiat Res* 1996;145:86-92.
  56. Lundell M, Mattsson A, Hakulinen T, Holm LE. Breast cancer after radiotherapy for skin hemangioma in infancy. *Radiat Res* 1996;145:225-30.
  57. Howe GR, McLaughlin J. Breast cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate-dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with breast cancer mortality in the atomic bomb survivors study. *Radiat Res* 1996 Jun;145(6):694-707.
  58. Negri E, Ron E, Franceschi S, et al. A pooled analysis of case-control studies of thyroid cancer. *Cancer Causes Control* 1999;10:131-42.
  59. Zheng T, Holford TR, Mayne ST, et al. Radiation exposure from diagnostic and therapeutic treatments and risk of breast cancer. *Eur J Cancer Prev* 2002;11:229-35.
  60. Damber L, Johansson L, Johansson R, Larsson LG. Thyroid cancer after X-rays treatment of benign disorders of the cervical spine in adults. *Acta Oncol* 2002;4:25-8.
  61. Rasmuson T, Damber L, Johansson L, Johansson R, Larsson LG. Increased incidence of parathyroid adenomas following X-ray treatment of benign disease in the cervical spine in adult patients. *Clin Endocrinol* 2002;57:731-4.
  62. Lundell M, Holm LE. Mortality from leukemia after irradiation in infancy for skin hemangioma. *Radiat Res* 1996 May;145(5):595-601.
  63. Jablon S, Miller RW. Army technologists: 29-year follow up for cause of death. *Radiology* 1978;126:677-79.

64. Rinsky RA, Zumwalde RD, Waxweiler RJ, et al. Cancer mortality at a Naval Nuclear Shipyard. *Lancet* 1981;1:231-35.
65. Stern FB, Waxweiler RA, Beaumont JJ, et al. A case-control study of leukemia at a naval nuclear shipyard. *Am J epidemiol* 1986;123:980-92.
66. McKinney PA, Alexander FE, Cartwright RA, Parker L. Parental occupations of children with leukaemia in West Cumbria, North Humberside, and Gateshead. *BMJ* 1991;302:681-87.
67. Wiggs LD, Cox-DeVore CA, Voelz GL, Reyes M. Mortality among workers exposed to external ionizing at a nuclear facility. *J Occup Med* 1991;33:632-37.
68. Jablon S, Boice JD Jr. Mortality among workers at a nuclear power plant in the United States. *Cancer Causes Control* 1993;4:427-30.
69. Wiggs LD, Johnson ER, Cox-DeVore CA, Voelz GL. Mortality through 1990 among white male workers at the Los Alamos National Laboratory: considering exposures to plutonium and external ionizing radiation. *Health Phys* 1994;67:577-88.
70. Cardis E, Gilbert ES, Carpenter L, et al. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. *Radiat Res* 1995;142:117-32.
71. Pearce N, Winkelmann R, Kennedy J, et al. Further follow-up of New Zealand participants in United Kingdom atmospheric nuclear weapons tests in the Pacific. *Cancer Causes Control* 1997;8:139-45.
72. Carpenter LM, Higgins CD, Douglas AJ, et al. Cancer mortality in relation to monitoring for radionuclide exposure in three UK nuclear industry workforces. *Br J Cancer* 1998;78:1224-32.
73. Roman E, Doyle P, Maconochie N, Davies G, Smith PG, Beral V. Cancer in children of nuclear industry employees: report from the nuclear industry family study. *BMJ* 1999;318:1443-50.
74. Ritz B. Radiation exposure and cancer mortality in uranium processing workers. *Epidemiology* 1999;10:531-8.
75. Ritz B, Morgenstern H, Froines J, Batts Young B. Effects of exposure to external ionizing radiation on cancer mortality in nuclear workers monitored for radiation at Rocketdyne/Atomics International. *Am J Ind Med* 1999;35:21-31.
76. Omar RZ, Barber JA, Smith PG. Cancer mortality and morbidity among plutonium workers at the Sellafield plant of British Nuclear Fuels. *Br J Cancer* 1999;79:1288-1301.
77. Wing S, Richardson D, Wolf S, Mihlan G, Crawford-Brown D, Wood J. A case control study of multiple myeloma at four nuclear facilities. *Ann Epidemiol* 2000;10:144-53.
78. Dupree-Ellis E, Watkins J, Ingle NJ, Joyce P. External radiation exposure and mortality in a cohort of uranium processing workers. *Am J Epidemiol* 2000;152:91-5.

79. Doyle P, Maconochie N, Roman E, Davies G, Smith PG, Beral V. Fetal death and congenital malformation in babies born to nuclear industry employees: report from the nuclear industry family study. *Lancet* 2000;356:1293-9.
80. Doyle P, Roman E, Maconochie N, Davies G, Smith PG, Beral V. Primary infertility in nuclear industry employees: report from the nuclear industry family study. *Occup Environ Med* 2001;58:535-39.
81. Ron E, Lubin JH, Shore RE, et al. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat Res* 1995;141:259-77.
82. Ashmore JP, Krewski D, Zielinski JM, Jiang H, Semenciw R, Band RR. First analysis of mortality and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. *Am J Epidemiol* 1998;148:564-74.
83. Fincham SM, Ugnat AM, Hill GB, Kreiger N, Mao Y. Is occupation a risk factor for thyroid cancer? Canadian Cancer Registries Epidemiology Research Group. *J Occup Environ Med*. 2000;42:318-22.
84. Marcus PM, Newman B, Millikan RC, Moorman PG, Day Baird D, Qaqish B. The association of adolescent cigarette smoking, alcoholic beverage consumption, environmental tobacco smoke, and ionizing radiation with subsequent breast cancer risk (United States). *Cancer Causes Control* 2000;11:271-78.
85. Sont WN, Zielinski JM, Ashmore JP, et al. First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. *Am J Epidemiol* 2001;153:309-18.
86. Andersson M, Engholm G, Eonow K, Jessen KA, Storm HH. Cancer risk among staff at two radiotherapy departments in Denmark. *Brit J Radiol* 1991;64:455-60.
87. Doody MM, Mandel JS, Boice JD Jr. Employment practices and breast cancer among radiologic technologists. *J Occup Environ Med* 1995;37:321-27.
88. Wang JX, Zhang LA, Li BX, et al. Cancer incidence and risk estimation among medical x-ray workers in China, 1950-1995. *Health Phys* 2002;82:455-66.
89. Freedman DM, Sigurdson A, Rao SR, et al. Risk of melanoma among radiologic technologists in the United States. *Int J Cancer* 2003;103:556-62.
90. Hauptmann M, Mohan AK, Doody MM, Linet MS, Mabuchi K. Mortality from diseases of the circulatory system in radiologic technologists in the United States. *Am J Epidemiol* 2003;157:239-48.
91. Sigurdson AJ, Doody MM, Rao RS, et al. Cancer incidence in the US radiologic technologists health study, 1983-98. *Cancer* 2003;97:3080-9.
92. Grayson JK, Lyons TJ. Cancer incidence in United States Air Force aircrew, 1975-89. *Aviat Space Environ Med* 1996;67:101-4.



93. Haldorsen T, Reitan JB, Tveten U. Cancer incidence among Norwegian airline cabin attendants. *International Journal of Epidemiology* 2001;30:825-830.
94. Pukkala E, Aspholm R, Auvinen A, Eliasch H, Gundestrup M, Haldorsen T, Hammar N, Hrafnkelsson J, Kyyronen P, Linnertsjo A, et al. Incidence of cancer among Nordic airline pilots over five decades: occupational cohort study. *BMJ* 2002;325:567-571.
95. Hammar N, Linnertsjo A, Alfredsson L, Dammstrom BG, Johansson M, Eliasch H. Cancer incidence in airline and military aircraft pilots in Sweden 1961-1996. *Aviat Space Environ Med* 2002;73:2-7.
96. Irvine D, Davies DM. The mortality of British Airways pilots, 1966-1989: a proportional mortality study. *Aviat Space Environ Med* 1992;63:276-79.
97. Band PR, Spinelli JJ, Ng VTY, Moody J, Gallagher RP. Mortality and cancer incidence in a cohort of commercial airline pilots. *Aviat Space Environ Med* 1990;61:299-302.
98. Band PR, Le ND, Fang R, et al. Cohort study of Air Canada pilots: mortality, cancer incidence and leukemia risk. *Am J Epidemiol* 1996;143:137-43.
99. Pukkala E, Auvinen A, Wahlberg G. Incidence of cancer among Finnish airline cabin attendants, 1967-92. *BMJ* 1995;311:649-652.
100. Rafnsson V, Tulinius H, Jonasson JG, Hrafnkelsson J. Risk of breast cancer in female flight attendants: a population-based study (Iceland). *Cancer Causes Control* 2001;12:95-101.
101. Reynolds P, Cone J, Layefsky M, Goldberg DE, Hurley S. Cancer incidence in California flight attendants (United States). *Cancer Causes Control* 2002;13:317-324.
102. Vagero D, Swerdlow AJ, Beral V. Occupation and malignant melanoma: a study based on cancer registration data in England and Wales and in Sweden. *Br J Ind Med* 1990;47:317-24.
103. Salisbury DA, Band PR, Threlfall WJ, Gallagher RP. Mortality among British Columbia pilots. *Aviat Space Environ Med* 1991;62:351-2.
104. Kaji M, Tango T, Asukata I, et al. Mortality experience of cockpit crewmembers from Japan Airlines. *Aviat Space Environ Med* 1993;64:748-50.
105. Grayson JK. Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US air force: a nested case-control study. *Am J Epidemiol* 1996;143:480-6.
106. Lynge E. Risk of breast cancer is also increased among Danish female airline cabin attendants. *BMJ* 1996;312:253.
107. Irvine D, Davies DM. British airways flightdeck mortality study, 1950-92. *Aviat Space Environ Med* 1999;70:548-55.
108. Boice JD Jr, Lubin JH. Occupational and environmental radiation and cancer. *Cancer Causes Control* 1997;8:309-22.
109. Ron E. Ionizing radiation and cancer risk: evidence from epidemiology. *Radiation Research* 1998;150:S30-41.

110. Blettner M, Grosche B, Zeeb H. Occupational cancer risk in pilots and flight attendants: current epidemiological knowledge. *Radiat Environ Biophys* 1998;37:75-80.
111. Boice JD Jr, Blettner M, Auvinen A. Epidemiologic studies of pilots and aircrew. *Health Phys* 2000;79:576-84.
112. Schubauer-Berigan MK, Wenzl TB. Leukemia mortality among radiation-exposed workers. *Occup Med* 2001;16:271-87.
113. Moysich KB, Menezes RJ, Michalek AM. Chernobyl related ionising radiation exposure and cancer risk: an epidemiological review. *Lancet Oncol* 2002;3:269-79.
114. Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiation Research* 2000;154:178-186.
115. Lim MK. Cosmic rays: are air crew at risk? *Occup Environ Med* 2002;59:428-433.
116. Ballard T, Lagorio S, De Angelis G, Verdecchia A. Cancer incidence and mortality among flight personnel: a meta-analysis. *Aviat Space Environ Med* 2000;71:216-24.
117. Lynge E. Cancer in the air. *Int J Epidemiol* 2001;30:830-2.
118. Peckover R. Perspectives in low dose risk estimation. *J Radiol Prot* 2002;22:A169-73.
119. Dunning DE Jr, Leggett RW, Sullivan RE. An assessment of health risk from radiation exposures. *Health Phys* 1984;46:1035-51.
120. Puskin JS, Nelson CB. Estimates of radiogenic cancer risks. *Health Phys* 1995;69:93-101.
121. Ritz B, Morgenstern H, Moncau J. Age at exposure modifies the effects of low-level ionizing radiation on cancer mortality in an occupational cohort. *Epidemiology* 1999;10:135-40.
122. Richardson DB, Wing S, Hoffmann W. Cancer risk from low-level ionizing radiation: the role of age at exposure. *Occupational Medicine* 2001;16:191-218.
123. Manzoli L, Panarese F, Ruocco M, Piras P, Latini E. Stress psicologico cronico e malattia. Review delle patologie associate e dei principali meccanismi fisiopatologici. *Difesa Sociale* 2002;81:63-88.
124. Di Paola M. Radiobenefici. Atti del XVI Congresso Nazionale AIRM "Radiazioni e Sanità" (26-29 maggio 1999). ISPESL, 1999.
125. European Commission. Europeans and radioactive waste. Brussels: INRA, Eurobarometer 56.2, 2002.
126. Bugio A, D'Errico A, Tamburrano MT. Il sistema ospedaliero del Servizio Sanitario Nazionale: efficienza e appropriatezza a livello regionale. *Ig Sanita Pubbl* 2002;58:413-30.
127. Trenta G. La protezione del paziente nella diagnostica e terapia con radiazioni ionizzanti. *Ig Sanita Pubbl* 2000;5:433-8.
128. Trenta G. Nuove disposizioni di radioprotezione per lavoratori e popolazione. *Ig Sanita Pubbl* 2000;6:524-30.



129. Fiori A, La Monaca G. Una svolta della Cassazione Penale: il nesso di causalità materiale nelle condotte mediche omissive deve essere accertato con probabilità vicina alla certezza. Riv It Med Leg 2001;23:818-30.

**Tavola 1.** Termini utilizzati per la ricerca bibliografica nelle banche dati MedLine ed Embase.

“irradiation”	“incidence”
“radiation”	“mortality”
“x-ray”	“health effects”
“nuclear”	“cancer”
“atomic”	“carcinogenesis”
“uranium”	“cancerogenicity”
“cosmic”	“leukemia”
“pilots”	“leukaemia”
“air crew”	“neoplasm/s”
“flight”	

**Tavola 2.** Schema sintetico degli studi relativi agli effetti delle radiazioni ionizzanti a basse dosi nelle principali tipologie di soggetti esposti<sup>1</sup>, suddivisi in base ai risultati.

Popolazione oggetto dello studio	Studi con significativo aumento del rischio (rif. bibl. e dose) <sup>2</sup>	Totale soggetti	Studi con risultati non significativi o con riduzione del rischio (rif. bibl. e dose) <sup>2</sup>	Totale soggetti	Principali outcomes significativi <sup>3</sup>
Sopravvissuti a Hiroshima e Nagasaki	4 studi di corte (11, 12, 42, 43: dose 250 mSv)	86.572*	--	--	Mortalità per cancro (12), incidenza di leucemie (42), incidenza di tumori solidi, di cancro della mammella, del polmone, della tiroide (11) e delle ghiandole salivari (43)
Addetti alle operazioni di pulizia e popolazione nel post-Chernobyl	2 studi di corte (45: dose 12mGy; 46: dose 108 mGy)	167.862*	2 studi cross-sectional (47: dose 108 mGy; 44: dose n.i.) 2 studi di corte (49: dose 100 mGy; 48: dose 15 mGy)	47.781	Incidenza di cancro (46), incidenza di cancro della tiroide (45,48)
Pazienti sottoposti a terapie od esami diagnostici con impiego di radiazioni ionizzanti	4 studi di corte (60 e 61: dose 1 Gy; 50: dose n.i.; 57: solo per dosi > 10 mGy) 1 pooled-analysis di 14 studi caso-controllo (58: dose n.i.)	56.591	2 studi caso-controllo (51 e 59: dosi n.i.) 6 studi di corte (52: dose 150 mGy; 53: dose 1 Sv; 54: dose 500 mGy; 55: dose 1 Gy; 62: dose 130 mGy; 56: dose 400 mGy)	146.964	Incidenza di cancro della mammella (50,57), della tiroide (58,60), e di adenomi paratiroidei (61)
Lavoratori presso impianti nucleari	--	--	1 studio cross-sectional (80: dose n.i.) 4 studi caso-controllo (65, 66, 71 e 77: dose n.i.) 14 studi di corte (67 e 74: dose 30 mSv; 68, 69 e 75: dose 20 mSv; 20 e 76: 5 mSv; 78: dose 48 mSv; 21: dose 15 mSv; 79, 63, 64, 72 e 73: dose n.i.) 1 meta-analisi di studi di corte che non include gli studi sopra citati (70: dose 40 mSv)	429.926	--
Tutti i lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti per motivi professionali	--	--	1 pooled-analysis di 5 studi di corte e 2 studi caso-controllo (81: dose n.i.)** 2 studi caso-controllo, non inclusi nella precedente (83 e 84: dose n.i.) 3 studi di corte su registri nazionali occupazionali (85: dose 7 mSv; 34: dose 30 mSv; 82: n.i.)	456.570*	Incidenza di cancro della tiroide e melanoma (85)

1. Ad eccezione di: radiologi/tecnici di radiologia e piloti/equipaggio dell'aviazione civile, poiché riportati nelle tavole 3 e 4, rispettivamente; minatori esposti a Uranio/Radon, soggetti esposti a test nucleari, e residenti in prossimità di impianti atomici, per finalità di sintesi e poiché di minore interesse per l'ambito lavorativo e per il contesto italiano.

2. Secondo i canoni vigenti nella ricerca biomedica ( $p < 0.05$ ).

3. In presenza di numerosi outcomes significativi, sono stati inclusi in colonna solo quelli di maggior rilievo in termini di severità clinica o riferiti a patologie più frequentemente associate ad esposizione a basse dosi di radiazioni ionizzanti.

\* In caso di più studi, esaminanti diversi outcomes ma condotti sulla stessa corte (sopravvissuti alle esplosioni atomiche, o appartenenti a registri occupazionali nazionali), onde evitare di includere nel totale più volte gli stessi soggetti, è stato riportato quale numero complessivo di partecipanti il numero massimo di appartenenti alla corte indicato negli studi.

\*\* Sono considerati esclusivamente i risultati inerenti la sub-corte di pazienti esposti dopo i 15 anni di età, poiché unica pertinente al nostro ambito d'indagine.

**Tavola 3.** Caratteristiche degli studi relativi a personale sanitario che utilizza sorgenti di radiazioni ionizzanti a scopo diagnostico/terapeutico.

N.	Primo Autore (rif. bibl.)	Anno	N. partecip.	Person-years	Disegno studio	Dose media <sup>1</sup>	Outcome principale <sup>2</sup>	Risultati relativi all'outcome principale <sup>3</sup>	Eventuali outcomes secondari significativi <sup>3</sup>
1	Doody (87)	1995	3.156	--	Caso-controllo	n.i.	Incidenza neoplasia mammella	Non Significativi	
2	Lougue (31)	1986	7.766	n.i.	Corte	n.i.	Mortalità per tutte le cause	Non Significativi	
3	Andersson (86)	1991	4.151	49.553	Corte	18 mSv	Incidenza di cancro	Non Significativi	
4	Berrington (33)	2001	2.698	69.615	Corte	50 mSv	Mortalità per tutte le cause	Significativa riduzione del rischio	Incidenza di cancro * e neoplasie infatiche
5	Hauptmann (90)	2002	90.284	1.107.100	Corte	n.i.	Mortalità per cause cardiovasc.	Non Significativi	
6	Wang (88)	2002	52.793	1.463.538	Corte	244 mGy	Incidenza di cancro	Significativo aumento del rischio solo per dosi >110 mGy	
7	Freedman (89)	2003	68.588	698.028	Corte	n.i.	Incidenza di melanoma	Significativa riduzione del rischio	
8	Mohan 2 (22)	2003	146.022	5.840.880	Corte	n.i.	Mortalità per tutte le cause	Significativa riduzione del rischio	Neoplasia della mammella
9	Sigurdson (91)	2003	90.305	759.464	Corte	n.i.	Incidenza di cancro	Significativo aumento del rischio	Neoplasia della mammella, tiroide, e melanoma

1. Riferito alla dose media annuale, espressa in termini di "dose assorbita" ( $Gray = Gy = 1 \text{ Joule/Kg} = 100 \text{ RAD}$ ) o "dose equivalente" ( $Sievert = Sv = Gy \cdot \text{fattore di ponderazione, pari a 1 per i raggi X}$ ). Quando non esplicitamente riportata, la dose media annua è stata ricavata dai dati a disposizione; nei casi in cui la dose di esposizione è stata espressa esclusivamente in termini di range (ad es. 4-15 mSv), ed il valore più elevato non superava di oltre 9 volte il valore minore, la dose media è assunta pari alla media matematica dei due valori indicati. In tutti gli altri casi, la dose media annua è stata considerata "non indicata".

2. Sono considerati "principali" gli outcomes più generici: ad esempio, in caso di valutazione sia della "mortalità per tutte le cause" che della "mortalità per leucemia", il primo è assunto quale outcome principale.

3. I risultati si riferiscono alla significatività statistica dell'outcome principale, indipendentemente dalle affermazioni contenute nel testo, mentre eventuali significatività di altri outcomes sono indicate nella colonna sugli outcomes secondari. Sono considerati significativi valori di  $p < 0.05$  o limiti di confidenza al 95% (IC95%) che non includano l'unità. Non significativi = Rischio Relativo (RR), per gli esposti a radiazioni ionizzanti a basse dosi, i cui IC95% comprendono il valore di 1, essendo il primo inferiore ed il secondo superiore; Significativo aumento del rischio = entrambi IC95% oltrepassano l'unità; Significativa diminuzione del rischio = entrambi IC95% sono inferiori ad 1. Le considerazioni degli autori sono state accolte solo in caso di esplicita dichiarazione di risultato casuale dovuto a limiti metodologici o bias contenuti nello studio (ad esempio, il riscontro di un'associazione con il cancro della prostata nello studio di Andersson e colleghi). Infine, è importante chiarire che gli studi che hanno valutato outcomes generali, quali mortalità per tutte le cause, hanno sempre esaminato anche outcomes più specifici, quali ad esempio la mortalità per tumore della mammella, o del polmone, etc. Ciò implica che, quando non esplicitamente indicato nella colonna degli outcomes secondari, i risultati relativi a tali outcomes sono da considerare non significativi.

\* Risultato controverso, relativo al confronto con medici, ma non confermato quando la comparazione ha riguardato la popolazione di pari età, sesso, e classe socio-economica (vedasi anche il testo).

n.i. = non indicato.

**Tavola 4.** Caratteristiche degli studi relativi a piloti o equipaggio di aerei \*.

N.	Primo Autore (rif. bibl.)	Anno	N. partecip.	Person-years	Disegno studio	Outcome principale <sup>2</sup>	Risultati relativi all'outcome principale <sup>3</sup>	Eventuali outcomes secondari significativi <sup>3</sup>
1	Grayson 2 (105)	1996	1.150	--	Caso-controllo	Incidenza di tumore al cervello	Non significativi	
2	Lynge (106)	1986	915	n.i.	Corte	Incidenza di cancro della mammella	Non significativi	
3	Band 1 (97)	1990	891	17.602	Corte	Mortalità per tutte le cause e incidenza di cancro	Non significativi	Incidenza di neoplasie cerebrali, prostatiche, cutanee (non melanomi), e linfoma di Hodgkin
4	Kaji (104)	1993	2.327	32.116	Corte	Mortalità per tutte le cause	Significativa riduzione del rischio	
5	Band 2 (98)	1996	2.740	62.449	Corte	Mortalità per tutte le cause e incidenza di cancro	Significativa riduzione del rischio	Incidenza di cancro alla prostata
6	Grayson 1 (92)	1996	59.940	1.617.351	Corte	Incidenza di cancro	Significativo aumento del rischio	Melanoma e altre neoplasie cutanee
7	Haldorsen (93)	2001	3.693	72.804	Corte	Incidenza di cancro	Non significativi	Melanoma e altre neoplasie cutanee
8	Pukkala 2 (94)	2002	10.032	177.244	Corte	Incidenza di cancro	Non significativi	Melanoma e altre neoplasie cutanee
9	Zeeb 1 (23)	2002	6.061	105.037	Corte	Mortalità per tutte le cause	Significativa riduzione del rischio	
10	Zeeb 2 (24)	2003	44.142	656.465	Corte	Mortalità per tutte le cause	Non significativi	Neoplasie cutanee diverse dal melanoma
11	Salisbury (103)	1991	n.i.	n.i.	PMR **	Mortalità per cancro	Non significativi	
12	Irvine 1 (96)	1992	n.i.	n.i.	PMR **	Mortalità per cancro	Significativo aumento del rischio	Neoplasie cerebrali, prostatiche, e melanoma
13	Vagero (102)	1990	4.731	n.i.	RLS †	Incidenza di melanoma	Significativo aumento del rischio	
14	Pukkala 1 (99)	1995	1.764	24.500	RLS †	Incidenza di cancro	Non significativi	Cancro della mammella e neoplasie ossee
15	Irvine 2 (107)	1999	7.362	n.i.	RLS †	Mortalità per tutte le cause	Significativa riduzione del rischio	Leucemia acuta mieloide
16	Rafnsson (100)	2001	1.690	27.148	RLS †	Incidenza di cancro	Significativo aumento del rischio	Melanoma e cancro della mammella
17	Hammar (95)	2002	2.808	n.i.	RLS †	Incidenza di cancro	Non significativi	Melanoma e altre neoplasie cutanee
18	Reynolds (100)	2002	58.848	n.i.	RLS †	Incidenza di cancro	Significativo aumento del rischio	Cancro della mammella

\* Per tutti gli studi inclusi, la dose media annua è assunta sicuramente inferiore ai 20 mSv (valore soglia indicato dalla ICRP - Boice 132);

\*\* Proportional Mortality Study, † Record Linkage Study;

2. e 3. Vedere note corrispondenti in Tavola 3;

n.i. = non indicato

**Tavola 5.** Limiti di dose per i lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti (36,38).

<b>Dose equivalente</b>	<b>Lavoratori inclusi nella categoria A</b>	<b>Lavoratori inclusi nella categoria B</b>	<b>Lavoratori non esposti, persone del pubblico</b>
Esposizione globale	100 mSv in 5 anni, non oltre 20mSv per anno	6 mSv per anno	1 mSv per anno
Cristallino	150 mSv per anno	45 mSv per anno	15 mSv per anno
Cute	500 mSv per anno	150 mSv per anno	50 mSv per anno
Estremità (mani, piedi, avambracci)	500 mSv per anno	150 mSv per anno	50 mSv per anno

## Capitolo III

### RIFERIMENTI LEGISLATIVI INERENTI I LAVORATORI ESPOSTI A RADIAZIONI IONIZZANTI

Le primitive disposizioni normative in tema di esposizione lavorativa a radiazioni ionizzanti si sono avute con l'introduzione del D. Lgs. 17 marzo 1995 n. 230 che, abrogando il D.P.R. 13 febbraio 1964 n. 185, ha recepito le direttive Euratom n. 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3.

Con l'introduzione del D. Lgs. 26 maggio 2000, n. 241 ("Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti") sono state apportate le modifiche strettamente necessarie al recepimento della direttiva comunitaria 96/29/EURATOM.

Successivamente, con il D.M. 11 giugno 2001, n. 488 ("Regolamento recante criteri indicativi per la valutazione dell'idoneità dei lavoratori all'esposizione alle radiazioni ionizzanti", in G.U. 5 aprile 2002, n. 80) è stato ulteriormente disciplinato il settore.

Tale decreto ministeriale è stato emanato ai sensi dell'art. 84, comma 7, del D. Lgs. 230/95, che recita: "Con decreto del Ministero della sanità, di concerto con il Ministero del lavoro e della previdenza sociale, sentiti l'ISPESL, l'ISS e l'ANPA, sono definiti criteri indicativi per la valutazione dell'idoneità all'esposizione alle radiazioni ionizzanti".

Il D.M. 11 giugno 2001, n. 488 ha dunque recepito le indicazioni programmatiche contenute nel D. Lgs. 230/95 relativamente a criteri orientativi, fruibili dai medici addetti alla sorveglianza medica, per la valutazione dell'idoneità di lavoratori all'esposizione a radiazioni ionizzanti.

Il D. Lgs. 230/95 ha invece stabilito i principi generali di protezione dalle radiazioni ionizzanti; tale decreto, al capo VIII ("Protezione sanitaria dei lavoratori"), regola la tutela dei lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti, enunciando le possibili fonti di rischio radioattivo in industrie ed ospedali, distinguendo sorgenti sigillate da sorgenti non sigillate radiogene a seconda del livello di rischio e la materia radioattiva da materie fissili speciali (quali: plutonio 239, uranio 233, uranio 235, ecc.).

Gli articoli 61-63 del D. Lgs. 230/95 elencano gli obblighi del datore di lavoro e delle altre figure dirigenziali introdotte dal D. Lgs. 626/94, cui spetta la responsabilità sulla sorveglianza fisica del lavoratore. Si fa obbligo, infatti, al datore di lavoro di attuare le misure di sicurezza e prevenzione necessarie a ridurre l'esposizione a radiazioni ionizzanti per i lavoratori.

L'esperto qualificato<sup>g</sup> deve, invece, effettuare accertamenti sul rischio di esposizione interna ed esterna a sorgenti radiogene, conseguenti ad eventi anormali o a malfunzionamenti.

La valutazione delle dosi ricevute deve essere eseguita, in maniera sistematica, dall'esperto qualificato con l'ausilio di apparecchi di misura per ciascun lavoratore classificato in Categoria A<sup>h</sup>. L'esperto qualificato deve, inoltre, effettuare accertamenti di ordine fisico sugli emettitori di radiazioni (valutare concentrazione volumetrica o superficiale, natura, stato fisico e forma fisica dei radionuclidi; dose assorbita, natura e fattore di qualità delle radiazioni; ecc.).

Nell'articolo 6 del D. Lgs. 230/95 si dividono i lavoratori esposti in quelli di Categoria A e B, intendendo per i primi coloro i quali, per la specifica attività svolta, sono suscettibili di ricevere un'esposizione radioattiva in un anno solare pari a:

- a) 6 mSv<sup>i</sup> per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
- b) tre decimi di uno qualsiasi dei limiti di dose fissati per cristallino, pelle, mani, avambracci, piedi e caviglie.

Nella Categoria B rientrano, invece, tutti i lavoratori non classificabili all'interno di quella A ma suscettibili di esposizione lavorativa a radiazioni ionizzanti.

Nel punto 4 dell'Allegato III al decreto si delimitano le aree di lavoro in cui può esservi un rischio per i lavoratori. Si distinguono, pertanto, due diverse Zone Classificate<sup>j</sup>: una Zona Controllata, in caso sussista il rischio del superamento dei valori stabiliti per i lavoratori di Categoria A, ed una Zona Sorvegliata, in caso vi sia rischio di superamento di uno dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico<sup>k</sup>. Le due Zone sono contrassegnate con segnaletica visibile e comprensibile; nelle Zone Controllate, in più, devono essere ben delimitate le aree di accesso.

La sorveglianza fisica della radioprotezione deve essere effettuata<sup>l</sup> ove le attività di lavoro comportino la classificazione delle aree di lavoro in una o più Zone Controllate o Sorvegliate ovvero in lavoratori esposti<sup>m</sup>, anche di categoria B, apprendisti e studenti.

<sup>g</sup> L'esperto qualificato è definito all'art. 6 del presente Decreto come: "persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione. La sua qualificazione è riconosciuta secondo le procedure stabilite nel presente decreto"

<sup>h</sup> Qualora le valutazioni individuali fossero non significative o insufficienti in relazione al tipo e alle sorgenti di radiazione, alle specifiche modalità d'esposizione e alla sensibilità delle metodiche di misura, l'esperto qualificato deve darne motivata relazione, ai sensi dell'art. 80 del D.Lgs. 230/95.

<sup>i</sup> Sievert (Sv): nome speciale dell'unità di dose equivalente o di dose efficace. Se il prodotto dei fattori di modifica è uguale a 1: 1 Sv = 1 J kg.

<sup>j</sup> La Zona Classificata è definita nell'articolo 6 del D. Lgs. 230/95 come: "ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti..."

<sup>k</sup> Ex art. 6 del medesimo Decreto.

<sup>l</sup> Ai sensi dell'art. 75 del D.Lgs. 230/95.

<sup>m</sup> Per lavoratori esposti bisogna intendere, ai sensi dell'articolo 6 del D. Lgs 230/95: "persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a un'esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati

L'articolo 96 ("Limiti di esposizione") fissa, invece, i limiti di dose per lavoratori esposti, apprendisti e studenti, lavoratori autonomi e dipendenti, lavoratori non esposti, sottolineando l'obbligo di aggiornare i suddetti valori di dose nel rispetto degli obiettivi di radioprotezione stabiliti dalle direttive dell'Unione Europea.

La determinazione dei valori limite di dose nonché dei criteri di computo ed utilizzazione delle grandezze radioprotezionistiche connesse è riportata nell'Allegato IV al D. Lgs. 230/95. In esso si stabilisce che il limite di equivalente di dose per esposizione globale di lavoratori esposti è pari a 100 mSv in cinque anni solari consecutivi<sup>n</sup>, senza superare 50 mSv in anno solare. Inoltre, devono essere rispettati, in un solo anno solare, i seguenti limiti per lavoratori esposti:

- a) 150 mSv per il cristallino;
- b) 500 mSv per la pelle<sup>o</sup>;
- c) 500 mSv per mani, avambracci, caviglie e piedi.

Per lavoratrici esposte in età fertile, ferme restando le condizioni di esposizione globale sopra menzionate, bisogna assicurare che l'equivalente di dose all'addome, ricevuto in un trimestre solare, non superi i 13 mSv<sup>p</sup>.

Per apprendisti e studenti i limiti di equivalente di dose sono stabiliti a seconda dell'età e della tipologia d'attività o studio dei medesimi. In Allegato III, punto 2.1, si stabilisce che apprendisti e studenti, di età non inferiore a 18 anni, che si avviino ad una professione nel corso della quale saranno esposti a radiazioni ionizzanti o i cui studi implicino necessariamente l'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti, sono soggetti agli stessi limiti di equivalente di dose previsti per i lavoratori esposti.

In Allegato IV si definiscono anche gli obblighi di sorveglianza medica eccezionale<sup>q</sup> per lavoratori esposti, apprendisti e studenti che, nel corso delle loro attività lavorative o di studio abbiano subito, in un anno solare, un'esposizione maggiore di 50 mSv, o dei limiti stabiliti.

---

per le persone del pubblico. Sono lavoratori esposti di categoria A i lavoratori che, per il lavoro che svolgono, sono suscettibili di ricevere in un anno solare una dose superiore a uno dei pertinenti valori stabiliti con il decreto di cui all'articolo 82; gli altri lavoratori esposti sono classificati in categoria B."

n Modificato dall'allegato IV al D.Lgs. 241/2000 ove si prevede un limite di 20 mSv/anno.

o Se l'esposizione risulta da una contaminazione radioattiva cutanea, tale limite si applica all'equivalente di dose medio su qualsiasi superficie di 1 cm<sup>2</sup>.

p Ove vi sia il rischio di esposizione a radionuclidi per inalazione, bisogna assicurare che le concentrazioni di radionuclidi in aria, mediate su un trimestre solare, non superino i valori riportati nella colonna 4 della Tabella IV-1 del D. Lgs. 230/95.

q Nell'articolo 91 del D. Lgs. 230/95 si definisce la sorveglianza medica eccezionale: "Il datore di lavoro deve provvedere affinché i lavoratori che hanno subito una contaminazione siano sottoposti a provvedimenti di decontaminazione. Il datore di lavoro deve inoltre provvedere a che siano sottoposti a visita medica eccezionale, da parte di un medico autorizzato, i lavoratori che abbiano subito una esposizione tale da comportare il superamento dei valori stabiliti ai sensi dell'articolo 96. Deve altresì provvedere a che i lavoratori in questione siano sottoposti a sorveglianza medica eccezionale, comprendente in particolare i trattamenti terapeutici, il controllo clinico e gli esami, che siano ritenuti necessari dal medico autorizzato a seguito dei risultati della visita medica. Le successive condizioni di esposizione devono essere subordinate all'assenso del medico autorizzato..."



Nel punto 14 dell'Allegato IV si segnala, infine, che il limite di equivalente di dose globale per le persone del pubblico è di 1 mSv per anno solare.

Per le persone del pubblico devono, inoltre, essere rispettati i seguenti limiti:

- a) 15 mSv per il cristallino;
- b) 50 mSv per la pelle<sup>r</sup>;
- c) 50 mSv per mani, avambracci, piedi e caviglie.

La sorveglianza medica<sup>s</sup> spetta, invece, al medico autorizzato<sup>t</sup> deputato all'effettuazione di visita medica preventiva e periodica dei lavoratori.

I criteri indicativi con cui il medico addetto alla sorveglianza medica deve valutare l'idoneità di esposti a radiazioni ionizzanti sono riportati nel D.M. 488/2001. In esso, all'articolo 1, si fa obbligo al medico di provvedere alla verifica dell'effettiva compatibilità tra le condizioni psicofisiche del lavoratore e gli specifici rischi connessi alla sua destinazione lavorativa ed alle sue mansioni.

In funzione delle diverse tipologie di rischio, ai fini del giudizio di idoneità al lavoro per lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti, il medico deve valutare l'eventuale sussistenza di talune condizioni:

- a) condizioni suscettibili di attivazione od aggravamento per conto delle radiazioni ionizzanti;
- b) condizioni suscettibili di aumentare l'assorbimento di sostanze radioattive o ridurre l'efficacia dei meccanismi fisiologici di depurazione o escrezione;
- c) condizioni che pongono problemi di ordine terapeutico in occasione di eventuale sovraesposizione, specie se limitano le possibilità di decontaminazione;
- d) condizioni suscettibili di essere confuse con patologie derivanti da radiazioni ionizzanti o attribuite all'azione lesiva delle radiazioni ionizzanti.

Inoltre, il medico deve valutare l'eventuale presenza di alcune condizioni fisiopatologiche, di cui al comma 1, lettere a), b), c), d) dell'allegato tecnico al D.M.:

- a) lesioni precancerose, malattie neoplastiche, sindromi mielodisplastiche, ecc.;
- b) condizioni patologiche che determinino un'abnorme permeabilità cutaneo-mucosa (afezioni cutanee infiammatorie acute-croniche, eczemi,

---

<sup>r</sup> Loc. Cit. n. 4.

<sup>s</sup> La sorveglianza medica è definita all'art. 6, punto h, del presente Decreto: "l'insieme delle visite mediche, delle indagini specialistiche e di laboratorio, dei provvedimenti sanitari adottati dal medico, al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti".

<sup>t</sup> Il medico autorizzato, ai sensi dell'articolo 6 del presente Decreto, è rappresentato da: "medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti, la cui qualificazione e specializzazione sono riconosciute secondo le procedure e le modalità stabilite nel presente decreto".

psoriasi, ecc.), ovvero riduzione della funzionalità degli emuntori (insufficienza renale, insufficienza epatica, ecc.), tireopatie, ecc.;

c) alcune patologie cutanee (psoriasi, eczemi, ecc.), otorinolaringoiatriche, odontoiatriche, respiratorie, alterazioni della funzionalità epatica o renale, tireopatie, ecc.;

d) malattie neoplastiche, opacità del cristallino, alcune emopatie, ecc.

Tali condizioni, pur non escludendo a priori l'idoneità al lavoro, potrebbero porre problemi in ordine alle condizioni di sicurezza con radiazioni ionizzanti o limitare l'utilizzazione di dispositivi di protezione individuale, specie per le vie respiratorie.

Il medico, in base alle risultanze delle visite, deve classificare i lavoratori in:

a) idonei;

b) idonei a determinate condizioni;

c) non idonei;

d) lavoratori sottoposti a sorveglianza medica dopo la cessazione del lavoro che li ha esposti alle radiazioni ionizzanti.

### **Compiti di datore di lavoro, dirigenti e preposti (ai sensi dell'art. 61, D. Lgs. 230/95)**

- 1) Conferire incarichi d'opera professionale a esperti qualificati e medici autorizzati<sup>u</sup> per la sorveglianza rispettivamente fisica e medica della radioprotezione<sup>v</sup>, nei tempi e nei modi indicati nelle circolari INAIL n. 74 del 1997, n. 40 del 26/3/97 e n. 23 del 2/4/98.
- 2) Comunicare all'Ispettorato provinciale del lavoro la nomina dell'esperto qualificato e del medico autorizzato con le rispettive dichiarazioni di accettazione dell'incarico.
- 3) Vidimare registro di sorveglianza fisica e schede dosimetriche di cui al D.M. del Lavoro n. 449/90 ed il documento sanitario personale (DSP)<sup>w</sup>.
- 4) Acquisire dall'esperto qualificato la relazione contenente valutazioni ed indicazioni sulla radioprotezione.

---

<sup>u</sup> Medici autorizzati regolarmente iscritti all'Ispettorato medico centrale del lavoro.

<sup>v</sup> Tale obbligo era già imposto dal D.P.R. 185/64.

<sup>w</sup> Per ogni lavoratore esposto, così come stabilito dall'articolo 90 del D. Lgs. 230/95, il medico addetto alla sorveglianza deve istituire, tenere aggiornato e conservare un documento sanitario personale ove sono compresi:

1) dati raccolti nella visita preventiva e nelle visite periodiche, straordinarie ed in occasione della sorveglianza medica eccezionale;

2) la destinazione lavorativa, i rischi ad essa connessi ed i successivi mutamenti;

3) le dosi ricevute dal lavoratore, derivanti sia da esposizioni normali, sia accidentali o di emergenza, utilizzando i dati trasmessi dall'esperto qualificato.

- 5) Trasmettere copia della relazione di radioprotezione al responsabile del servizio di prevenzione e protezione ed al medico competente come parte del documento di valutazione dei rischi (art. 4, comma 2, D. Lgs. 626/94) sulle radiazioni ionizzanti.
- 6) Provvedere, sulla scorta delle indicazioni fornite dall'esperto qualificato, ad individuare, delimitare, segnalare e classificare in zone gli ambienti a rischio di radiazioni.
- 7) Fare in modo che l'accesso a tali ambienti sia regolamentato sulla base del giudizio di idoneità del medico autorizzato.
- 8) Fare sì che i lavoratori siano classificati dall'esperto qualificato ai fini della radioprotezione.
- 9) Garantire le condizioni per la collaborazione tra esperto qualificato, medico autorizzato, servizio di prevenzione e protezione e medico competente<sup>x</sup>.
- 10) Adoperarsi per divulgare le norme interne di protezione e sicurezza redatte dall'esperto qualificato e provvedere a facilitare la consultazione dei lavoratori.
- 11) Fornire ai lavoratori esposti, di categoria A e B, i necessari mezzi di protezione<sup>y</sup> assicurando lo svolgimento del servizio di sorveglianza dosimetrica.
- 12) Fornire al lavoratore i risultati sulla sorveglianza dosimetrica riguardanti la sua persona.
- 13) Assicurare annualmente la formazione/informazione sulla radioprotezione dei lavoratori che svolgono attività a rischio di radiazioni ionizzanti servendosi dell'esperto qualificato e del medico autorizzato.
- 14) Incaricare l'esperto qualificato per il controllo di qualità delle apparecchiature radiologiche, secondo le modalità previste dai D.M. del 14.2.97 e succ.<sup>z</sup>.
- 15) Conservare i documenti di sorveglianza fisica e medica della radioprotezione, secondo quanto stabilito nel D.M. del Lavoro 13 luglio 1990, n. 449<sup>aa</sup>.
- 16) Evitare di assegnare, in opposizione alle indicazioni mediche, i lavoratori sottoposti a sorveglianza medica a mansioni che li espongono a rischio di radiazioni ionizzanti.
- 17) Garantire ad esperti qualificati e medici autorizzati le condizioni per lo svolgimento dei loro compiti, consentendo a questi ultimi di accedere a qualsiasi informazione o documentazione ritenuta necessaria per le valutazioni sul giudizio d'idoneità dei lavoratori.

---

x In particolare, esperto qualificato e medico autorizzato sono tenuti a partecipare alle riunioni periodiche annuali (ex art. 11 D. Lgs. 626/94).

y Indumenti, materiali ed altri accessori indicati dall'esperto qualificato.

z Tali decreti, contestualmente al D. Lgs. 230/95, forniscono indicazioni specifiche per l'attuazione del controllo di qualità ai fini della prevenzione.

aa In tale D.M. sono stabiliti tempi e modalità di conservazione dei documenti, salvo diversa disposizione fornita dall'esperto qualificato e dal medico autorizzato.

- 18) Assicurare lo svolgimento della visita medica del medico autorizzato prima che i lavoratori siano destinati a mansioni che li espongano a radiazioni ionizzanti.
- 19) Informare il medico autorizzato della destinazione lavorativa del lavoratore e dei rischi connessi.
- 20) Fare sottoporre i lavoratori esposti a visita medica dal medico autorizzato quantomeno ogni sei mesi, ovvero quando vi sia un cambio mansione. Infine, far sottoporre il lavoratore a visita medica dal medico autorizzato prima della cessazione del rapporto di lavoro ed assicurarsi che, previa richiesta del diretto interessato, sia consegnata al lavoratore copia della documentazione sanitaria (dosimetrica, radiotossicologica, ecc.).
- 21) Allontanare immediatamente dal lavoro comportante rischio d'esposizione a radiazioni ionizzanti i lavoratori ritenuti, dopo visita del medico autorizzato, *non idonei*.
- 22) Assicurare una sorveglianza medica eccezionale ossia una visita del medico autorizzato per coloro i quali siano stati esposti a dosi di radiazioni ionizzanti superiori ai limiti consentiti<sup>bb</sup>.
- 23) Dare notizia all'Ispettorato del lavoro ed agli organi del Servizio sanitario nazionale competenti per territorio dell'allontanamento di un lavoratore dal lavoro.
- 24) Comunicare senza ritardo e comunque entro tre giorni all'ANPA, all'Ispettorato provinciale del lavoro ed agli organi del Servizio sanitario nazionale competente per territorio, eventuali incidenti verificatisi per attività esposte a radiazioni ionizzanti e casi di esposizione superiore ai limiti consentiti dalla legge.

### **Compiti del medico autorizzato**

- 1) Analisi dei rischi individuali connessi alle possibili destinazioni lavorative, ai fini della programmazione di indagini atte a valutare lo stato di salute del lavoratore.
- 2) Visite mediche preventive e periodiche.
- 3) Visite mediche straordinarie.
- 4) Visite mediche conclusive.
- 5) Adempimenti per la sorveglianza medica eccezionale.
- 6) Giudizio di idoneità alla mansione specifica.
- 7) Eventuali prescrizioni mediche da fare osservare.
- 8) Formazione/informazione per i lavoratori esposti.
- 9) Istituzione ed aggiornamento di documenti sanitari personali e loro consegna all'ISPEL – Dipartimento di Medicina del Lavoro.

---

<sup>bb</sup> Le successive condizioni di esposizione devono essere subordinate all'assenso del medico autorizzato.

- 10) Consulenza per il datore di lavoro circa la realizzazione di infrastrutture e procedure tese a garantire la sorveglianza medica dei lavoratori esposti.

### **Protocollo per la sorveglianza sanitaria del personale radioesposto (Linee guida AIRM)**

Il protocollo AIRM per la sorveglianza sanitaria dei soggetti radioesposti, a distanza di qualche anno dalla sua proposta, non viene applicato da tutti i medici incaricati della sorveglianza della radioprotezione.

Tale protocollo può essere, inoltre, integrato da accertamenti biologici o strumentali specifici, in relazione alla mansione svolta ed ai rischi connessi, in quanto il medico autorizzato svolge anche le funzioni di medico competente.

Il protocollo AIRM è il seguente:

#### *I. Visita medica preventiva (Art. 84 D. Lgs. 230/95)*

- Anamnesi ed esame obiettivo
- Visita oculistica
- Visita dermatologica<sup>cc</sup>
- Visita cardiologica con ECG
- Rx torace
- Profilo ematologico:
  - E.S.;
  - Ematocrito;
  - Emocromo con formula;
  - Piastrinemia;
  - Fibrinogenemia – APTT – PT.
- Profilo biochimico:
  - Glicemia;
  - Azotemia;
  - Creatininemia;
  - Uricemia;
  - Bilirubinemia tot. e frazionata;
  - AST – ALT – Gamma GT;
  - Fosfatasi alcalina;
  - Elettroforesi proteica;
  - Trigliceridemia;
  - Colesterolemia;
  - Colesterolo HDL – LDL;
  - Sideremia;
  - Transferrinemia;
- Profilo urinario:
  - Esame urine con sedimento.

---

<sup>cc</sup> Integrata, se necessario, dalla Teletermografia con criostimolazione.

2. *Visita medica periodica (Art. 85 D. Lgs. 230/95)* - Per lavoratori classificati in Categoria A ai sensi del D. Lgs. 230/95 (Allegato III).

- Periodicità semestrale
- Anamnesi ed esame obiettivo
- Profilo ematologico:
  - V.E.S.
  - Ematocrito
  - Emocromo con formula
  - Piastrinemia
  - Fibrinogenemia – PT
- Profilo urinario:
  - Esame urine con sedimento.
- Periodicità annuale
- Profilo biochimico:
  - Azotemia;
  - Creatininemia;
  - Glicemia;
  - Uricemia;
  - Trigliceridemia;
  - Colesterolemia;
  - Colesterolo HDL – LDL;
  - Bilirubinemia tot. e fraz.;
  - AST – ALT – gamma GT;
  - Elettroforesi proteica;
  - Fosfatasi alcalina;
  - Sideremia;
  - Transferrinemia;
- Visita cardiologica con ECG;
- Visita oculistica;
- Visita dermatologica.

3. *Visita medica straordinaria (Art. 85 D. Lgs. 230/95)*

- Accertamenti emato-clinico-strumentali a completa discrezione del medico autorizzato.

4. *Visita medica periodica (Art. 85 D. Lgs. 230/95)* - Per lavoratori classificati in Categoria B ai sensi del D. Lgs. 230/95 (Allegato III)<sup>dd</sup>.

- periodicità annuale
  - Anamnesi ed esame obiettivo
  - Tutti gli accertamenti ematochimici previsti per la Categoria A.

---

<sup>dd</sup> E' auspicabile che la sorveglianza sanitaria di questi lavoratori radioesposti competa al medico autorizzato anche per problemi organizzativi

- periodicità biennale
    - Visita oculistica
    - Visita dermatologica
    - Visita cardiologica con ECG.
  
  - periodicità annuale (Categoria A e B indistintamente)
    - Sangue occulto nelle feci in soggetti ultracinquantenni
    - Controlli senologici e ginecologici
    - Antigene prostatico specifico (P.S.A.) per soggetti ultracinquantenni.
5. *Visita medica conclusiva (Art. 85, comma 5, D. Lgs. 230/95)*
- Quanto previsto per le visite periodiche.
  - Eventuali prescrizioni mediche da fare osservare al lavoratore.
6. *Sorveglianza medica eccezionale (Art. 91 D. Lgs. 230/95)*
- Si consiglia di attenersi a quanto previsto nelle Linee guida per gli accertamenti diagnostici sulla sorveglianza medica dei lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti dell'AIRM.

In occasione del XVII Congresso AIRM (Roma, 3-5 ottobre 2001) è stato proposto un nuovo protocollo, non dissimile da quello appena riportato, costituito da:

*Visite preventive:*

- Emocromo con formula e piastrine;
- Esame urine;
- Glicemia creatininemia;
- Bilirubina totale e frazionata;
- GOT-GPT-gGT;
- Colesterolo;
- Trigliceridi;
- Protidogramma;
- APTT-PT-TT;
- Visita oculistica;
- Visita dermatologica;
- Markers epatite B e C.

*Screening oncologico*

- P.S.A. (uomini ultracinquantenni);
- Esame senologico (donne ultraquarantenni);
- Pap-test;



- Ricerca sangue occulto nelle feci (ultraquarantacinquenni);
- Ecografia tiroide;
- Ecografia scroto (uomini tra i 20 ed i 40 anni);
- Ecografia addome (ultracinquantenni).

*Visite periodiche*

- Emocromo con formula e piastrine semestrale per i primi 3 anni, poi annuale;
- Esame urine annuale;
- Profilo biochimico:
  - triennale dai 18 ai 40 anni;
  - biennale dai 40 ai 60 anni;
  - annuale in ultrasessantenni;
- Visita oculistica e dermatologica con periodicità a discrezione del medico;
- Ricerca del sangue occulto nelle feci annuale in ultraquarantacinquenni;
- Esame senologico biennale;
- Pap-test biennale;
- PSA annuale in ultracinquantenni;
- Ecografie con periodicità a discrezione del medico.

**Attuazione della Direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti**

A seguito della delega contenuta nella legge comunitaria n. 25/99 è stato emanato il decreto legislativo 26/5/2000 n. 241, pubblicato sul S.O. della G.U. n. 203 del 31/8/2000 ed entrato poi in vigore in data 01/01/2001, con il quale sono state introdotte nell'ordinamento italiano le disposizioni contenute nella direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.

In fase di predisposizione del decreto la scelta del legislatore è stata quella di apportare alla precedente normativa contenuta nel D.Lgs. 17 marzo 1995 n. 230 soltanto le modifiche strettamente necessarie al recepimento della suddetta direttiva comunitaria. In ogni caso, si deve evidenziare che il predetto decreto 230, essendo stato emanato nel 1995, allorquando la direttiva europea 96/29 era in fase avanzata di adozione, e quindi i relativi contenuti erano sostanzialmente noti, aveva già introdotto importanti aspetti dell'emananda normativa europea (ad esempio, i limiti di dose).

Le considerazioni qui di seguito esposte illustrano le principali modifiche apportate al menzionato D.Lgs. 230/95 con particolare riferimento agli aspetti relativi alla radioprotezione dei lavoratori.

Gli Artt. 1 e 2 sono riferiti al campo di applicazione del decreto con l'introduzione dei concetti di pratica ed intervento.

Per pratica s'intende qualunque attività umana che implichi un rischio da radiazioni ionizzanti provenienti da una sorgente artificiale (produzione, trattamento, detenzione, manipolazione, ecc.) o da radionuclidi naturali, sia nel caso in cui questi ultimi siano trattati per le loro proprietà radioattive, sia quando i predetti radionuclidi naturali divengano soggetti alla normativa ai sensi del Capo III-bis.

Per intervento, invece, deve intendersi qualunque attività mirante a prevenire o a limitare l'esposizione di persone a sorgenti che non facciano parte di una pratica o siano fuori controllo a causa di incidenti.

Il campo di applicazione rimane fissato dall'Allegato I. Va notato che, per quanto riguarda le sostanze radioattive, sono stati eliminati i gruppi di radiotossicità ed attualmente ogni radioisotopo ha un suo campo di applicazione in termini di attività totale e di concentrazione.

Per quanto riguarda le macchine radiogene, sono soggette alla normativa:

- apparecchiature che accelerano particelle cariche con energia superiore a 30 KeV;
- apparecchiature che accelerano particelle cariche con energia maggiore di 5 KeV e minore o uguale di 30 KeV, quando l'intensità dell'equivalente di dose ad una distanza di 10 cm dalla superficie esterna sia uguale o superiore a 1 mSv/h;
- tubi catodici, quando l'intensità di equivalente di dose ad una distanza di 5 cm da qualsiasi punto della superficie esterna è uguale o superiore a 5 mSv/h.
- Per gli apparecchi indicati agli ultimi due punti, il non superamento dei limiti di dose, può essere attestato sia direttamente dal fabbricante o importatore, sia a cura del datore di lavoro tramite misure effettuate da un esperto qualificato.

Si fa inoltre rilevare che il punto 0 dell'Allegato I individua i criteri di non rilevanza radiologica delle pratiche ai quali si è attenuto il legislatore nel determinare il campo di applicazione e quindi le soglie a partire dalle quali l'esercente è tenuto all'applicazione della normativa di radioprotezione.

Nell'Art. 4 del D. Lgs. 26/5/2000 n. 241 sono state accorpate le definizioni, come: pratica, intervento, esposizione soggetta ad autorizzazione speciale, esposizione potenziale, radiazioni ionizzanti, servizio riconosciuto di dosimetria, smaltimento, livello di allontanamento. Di conseguenza, sono stati abrogati gli artt. 5 e 6 del D.Lgs. 230/95.

Gli artt. da 10-bis a 10-octies introducono le disposizioni per l'esposizione a sorgenti naturali di radiazioni in alcune attività lavorative.

In particolare le attività coinvolte sono le seguenti:

- 1) attività lavorative in luoghi sotterranei: il datore di lavoro deve effettuare la misurazione della concentrazione di radon entro 24 mesi dall'inizio dell'attività, secondo linee guida emanate dalla cosiddetta Commissione "radon" istituita dall'art. 10-septies.

- 2) attività lavorative in superficie in zone ben individuate: il datore di lavoro effettua le misure di concentrazione di radon entro 24 mesi dall'inizio dell'attività o dalla individuazione effettuata dalle Regioni, sempre secondo le linee guida della Commissione radon. Le regioni devono eseguire la prima individuazione delle zone entro cinque anni dal 31 agosto 2000.
- 3) Attività lavorative implicanti l'uso o lo stoccaggio di materiali contenenti radionuclidi naturali e nelle terme: il datore di lavoro deve effettuare, entro 24 mesi dall'inizio dell'attività, una valutazione preliminare sulla base di misurazioni espletate secondo le indicazioni e le linee guida della Commissione. Se l'esposizione valutata non supera 1 mSv/anno, si ripetono le valutazioni ogni 3 anni o nel caso di variazioni significative del ciclo produttivo. Se l'esposizione supera invece 1 mSv/anno, il datore di lavoro deve effettuare l'analisi dei processi lavorativi ai fini della valutazione della dose e, se quest'ultima è superiore a 0,8 mSv/anno, deve ripetere la valutazione annualmente. Le attività sono individuate nell'Allegato I-bis e mutate da documenti comunitari e comprendono in particolare l'uso di minerali fosfatici, l'estrazione e la raffinazione di petrolio, la lavorazione di alcuni minerali (es. bauxite), di sabbie zirconifere, di terre rare, la produzione di materiali refrattari, l'impiego di composti del torio per la produzione di elettrodi, di vetri ottici e di reticelle per lampade a gas, la produzione di pigmento al biossido di titanio.  
Regime transitorio: l'obbligo di effettuare le valutazioni delle esposizioni entra in vigore in data 1 settembre 2003, fermo restando i 24 mesi di tempo per effettuarle.
4. Attività di volo: al personale navigante che effettua voli a quota non inferiore a 8000 metri si applicano le norme di cui al Capo VIII, fatta eccezione per alcuni articoli ritenuti non applicabili per la particolare attività, quali ad esempio l'obbligo di classificazione e di segnalazione delle zone, la prima verifica e la sorveglianza ambientale.

Per tutte le attività sopraindicate, nell'Allegato I-bis sono stati individuati i livelli di azione ed in particolare:

- 500 Bq/m<sup>3</sup> medi annui (che corrispondono a 3 mSv/anno per 2000 ore lavorative) per i lavoratori nelle attività di cui ai punti 1 e 2;
- 1 mSv/anno di dose efficace per i lavoratori nelle attività di cui ai punti 3 e 4;
- 0.3 mSv/anno per le persone del pubblico nelle attività di cui al punto 3.

Se si superano i livelli di azione, il datore di lavoro ha a disposizione tre anni per riportare la dose al di sotto dei livelli consentiti, tenendo conto del principio di ottimizzazione. Se nonostante le azioni di rimedio, non si riesce a riportare le grandezze al di sotto dei predetti livelli di azione si devono mettere in atto, per i lavoratori, i provvedimenti previsti dal capo VIII, ove applicabili (classificazione dei lavoratori, sorveglianza fisica, sorveglianza medica, ecc.).

I datori di lavoro, in caso di superamento del livello di azione per il radon di 500 Bq/m<sup>3</sup>, possono non adottare azioni di rimedio se dimostrano, tramite un esperto qualificato, che nessun lavoratore sia esposto ad una dose superiore a 3 mSv/anno (ad esempio in base alle limitate ore annue di permanenza nei locali ove si superano i predetti 500 Bq/ m<sup>3</sup>).

In caso di superamento dei livelli di azione, il datore di lavoro deve darne comunicazione agli organi di vigilanza (Arpa, A.S.L. e Direzioni Provinciali del Lavoro). Le direzioni provinciali dovranno trasmettere i predetti dati alla scrivente al fine del loro inserimento in un archivio nazionale<sup>ee</sup>.

E' stato, inoltre, introdotto l'art. 18-bis che prevede l'obbligo di autorizzazione per "l'aggiunta intenzionale di materie radioattive nella produzione di beni di consumo".

E' stato completamente riscritto l'art. 22 eliminando la "denuncia di detenzione" ed introducendo la comunicazione preventiva delle pratiche nei casi in cui non siano previsti provvedimenti autorizzativi. Tale comunicazione, a differenza della denuncia di detenzione, che veniva effettuata entro dieci giorni, deve essere inviata almeno 30 giorni prima dell'inizio della detenzione delle sorgenti.

Le condizioni per l'esenzione dalla comunicazione preventiva, nonché le modalità di effettuazione della stessa, sono fissate nell'Allegato VII. Tale allegato stabilisce le modalità di rilascio dell'autorizzazione di cui al predetto art. 18-bis nonché le modalità di notifica di cui all'art. 18 (importazione e produzione a fini commerciali).

L'art. 27 è stato profondamente modificato introducendo nuovi commi: il comma 1-bis tiene conto della peculiarità dell'uso di sorgenti mobili di radiazioni (es. controlli non distruttivi), prevedendo che il nulla-osta all'impiego sia rilasciato in relazione alle caratteristiche di sicurezza delle sorgenti ed alle modalità d'impiego e non in relazione all'idoneità dei locali, prevista dagli artt. 28 e 29.

A seguito di tale formulazione, il punto 7 dell'Allegato IX ha dettato particolari prescrizioni per il rilascio del predetto nulla osta, stabilendo che quello rilasciato dal Prefetto di una provincia sia valido su tutto il territorio nazionale, con notevole semplificazione per l'utenza.

Il comma 2-bis stabilisce i casi in cui è richiesto, come previsto dalla direttiva 96/29, il possesso del nulla-osta.

Altra innovazione importante, introdotta dal comma 6, è la previsione che per le attività soggette al nulla osta di categoria A (Amministrazione Centrale) non è necessario quello di categoria B (Amministrazione periferica) con eliminazione, pertanto, di doppie autorizzazioni.

L'All. IX stabilisce le condizioni per la classificazione in categoria A e B

---

<sup>ee</sup> Le nuove modalità di trasmissione della Documentazione relativa ai lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti ai sensi del D. Lgs. 230/1995 e successive modifiche ed integrazioni (D.Lgs 241/2000 e D.Lgs 257/2001) sono raccolte nella circolare I.S.P.E.S.L. del 2002.

dell'impiego di sorgenti per l'esenzione dal nulla osta, nonché le modalità di rilascio e di revoca dello stesso.

Rispetto alla precedente normativa si è cercato, per quanto possibile, di trasferire a livello periferico il rilascio del nulla-osta che prima rientrava nelle competenze delle amministrazioni centrali.

Il punto 6 dell'Allegato IX unificando le soglie per l'applicazione dell'art. 13 della L. 1860/62 e per la classificazione in categoria A, consente l'espletamento di un unico procedimento per entrambe le fattispecie.

L'entrata in vigore degli allegati VII e IX comporta l'abrogazione degli artt. 55, 92, 93, 96, 102 del D.P.R. 185/64 e dei relativi decreti applicativi.

Il Capo VIII si intitola "Protezione Sanitaria dei Lavoratori": le modifiche apportate riguardano sostanzialmente norme contenute nella direttiva 96/29. In particolare si evidenziano quelle relative ai seguenti articoli:

- Art. 64 che prevede l'inclusione tra i lavoratori tutelati dei lavoratori autonomi anche quando lavorano presso strutture proprie. A tale proposito, deve rilevarsi che coloro i quali svolgono un'attività senza impieghi di propri mezzi, a favore di un soggetto nel quadro di un rapporto continuativo con retribuzione periodica prestabilita (cosiddetti lavoratori parasubordinati) non rientrano tra i lavoratori autonomi, bensì tra gli equiparati ai lavoratori subordinati di cui all'art. 60. A sostegno di questa tesi va citato il recente D. Lgs. 38/2000 che ha esteso l'obbligo di assicurazione obbligatoria di tali lavoratori all'INAIL, assimilandoli quindi ai lavoratori dipendenti.
- Art. 69 concernente la protezione delle lavoratrici gestanti. La modifica, oltre che introdurre un limite di dose per il nascituro, vieta l'attività di tali lavoratrici in zone controllate o sorvegliate.
- Art. 81 e 90 concernenti la documentazione di sorveglianza fisica e medica. Alla cessazione del rapporto di lavoro o dell'attività d'impresa comportante esposizione a radiazioni ionizzanti, il documento sanitario personale, unitamente alla scheda dosimetrica, deve essere inviato all'ISPESL invece che all'Ispettorato Medico Centrale del Lavoro.
- Art. 85 che ha introdotto esplicitamente la possibilità per il medico di aumentare la frequenza delle visite mediche.

Si sottolinea che nulla è innovato per quanto riguarda le competenze; pertanto l'ANPA ed il Ministero del Lavoro continuano ad effettuare la vigilanza su tutti i tipi di sorgenti (macchine radiogene e sostanze radioattive), mentre le aziende sanitarie locali la effettuano limitatamente alle macchine radiogene.

L'art. 83 del D.P.R. 185/64 è stato abrogato a partire dall'1/1/96 e pertanto, da tale data, la sorveglianza fisica o medica della protezione può essere effettuata sia da persone fisiche iscritte nei relativi elenchi, sia da persone giuridiche, compresi gli ex Istituti autorizzati, purché la sorveglianza venga effettuata tra-

mite esperti qualificati o medici autorizzati, sui quali ricade in ogni caso la responsabilità penale ed amministrativa.

Sono collegati al Capo VIII gli allegati III, IV, V, VI e XI: l'Allegato III è rimasto in gran parte inalterato; le modifiche riguardano l'obbligo di tenere conto delle esposizioni potenziali nella classificazione dei lavoratori e l'introduzione delle esposizioni soggette ad autorizzazione speciale, in sostituzione delle esposizioni eccezionali concordate. Tali esposizioni devono essere autorizzate dall'organo di vigilanza che fisserà anche il relativo limite di dose, che in ogni caso non può superare i 100 mSv.

L'Allegato IV ha invece subito profonde modifiche: è stato eliminato il limite di dose quinquennale, stabilendo un limite di 20 mSv/anno; ciò in armonia con quanto previsto dalla direttiva e considerando altresì che un limite annuale fisso, oltre ad essere più sicuro, facilita la gestione della sorveglianza dei lavoratori. Quanto sopra comporta l'obbligo della sorveglianza medica eccezionale al superamento di tale limite.

E' rimasto comunque inalterato l'obbligo per il datore di lavoro di limitare, in caso di superamento del limite, l'esposizione negli anni successivi a 10 mSv/anno fino a quando la media annuale non rientri entro il valore di 20 mSv.

In particolare si segnala:

- la modifica dei fattori di ponderazione degli organi;
- la definizione delle grandezze operative (equivalente di dose personale, ambientale, direzionale);
- l'introduzione dei coefficienti di dose efficace impegnata in funzione dell'età, sia per inalazione sia per ingestione;
- il metodo di valutazione della dose in caso di esposizione interna ed esterna.

L'Allegato V stabilisce le modalità per l'iscrizione negli elenchi dei medici autorizzati e degli esperti qualificati, innovando il regime previsto in precedenza. In particolare, è stata introdotta una tassa d'esame, il cui ammontare sarà determinato con apposito provvedimento da emanare di concerto con il Ministro del Tesoro ed è stata altresì eliminata la possibilità di giustificare l'eventuale assenza all'esame di abilitazione.

L'Allegato VI fissa, ai sensi dell'art. 74, i limiti di dose per le esposizioni professionali di emergenza cui possono essere sottoposti sia i lavoratori che il personale delle squadre di intervento.

L'Allegato XI determina le modalità di tenuta della nuova documentazione di sorveglianza fisica e medica, sostituendo il D.M. 449/90, ed istituisce il libretto personale di radioprotezione per i lavoratori esterni, dettando ai punti 1 e 2 le relative modalità di istituzione e di tenuta.

L'istituzione di quest'ultimo documento completa il recepimento dalla Direttiva Euratom 90/641, e sarà in dotazione dei lavoratori esposti di categoria A che effettuano lavori presso zone controllate esercitate da terzi. Il libretto deve essere richiesto dal datore di lavoro di impresa esterna, per i lavoratori esterni che al momento dell'assunzione ne siano sprovvisti, o dal lavoratore stesso, se

autonomo, e viene rilasciato dal Ministero del Lavoro - Direzione Generale dei Rapporti di lavoro - Div. III - Ispettorato Medico Centrale del Lavoro con l'attribuzione di un numero progressivo di registrazione.

La necessità dell'attribuzione del predetto numero, prevista dalla Direttiva al fine di evitare possibili duplicazioni, ha fatto optare per il rilascio da parte di un Ufficio Centrale.

La compilazione deve essere effettuata da tutti i soggetti destinatari degli obblighi di sorveglianza della radioprotezione e quindi dal datore di lavoro, dall'esercente, dagli esperti qualificati e dal medico autorizzato.

Come richiesto dalla Commissione Europea, è stata presa in considerazione anche l'ipotesi che i lavoratori provengano da un Paese Comunitario<sup>ff</sup>, prevedendo in tal caso l'utilizzazione del libretto istituito dallo stato di provenienza.

Il punto 3 determina il luogo di conservazione dei documenti relativi alla sorveglianza fisica, individuandolo nella sede di lavoro effettiva o legale. È stata eliminata la possibilità della conservazione degli stessi presso l'esperto qualificato, in quanto è risultata fonte di inconvenienti ai fini della efficacia dell'attività di vigilanza e non in linea con quanto previsto per la analoga documentazione istituita ai sensi degli artt. 4 e 17 del D. Lgs. 626/94; eguale disciplina viene introdotta al punto 8 per il documento sanitario.

Con il punto 4 si è ritenuto opportuno accorpate in un registro, i cui contenuti sono specificati nei punti 5 e 6, la documentazione di cui all'art. 81, ad eccezione delle schede dosimetriche che seguono sistemi diversi di conservazione.

In analogia, a quanto già previsto dal D.M. 449/90, è stata concessa la possibilità, nel caso di attività ricadente in un regime autorizzativo, di poter fare riferimento alla documentazione riportata nell'atto autorizzativo o ad esso allegata, nonché di istituire sezioni separate del predetto registro in riferimento ai diversi impianti o ai diversi argomenti.

Il punto 7 introduce una notevole semplificazione rispetto a quanto era previsto dal D.M. 449/90; infatti il modello di scheda personale dosimetrica indica solo i contenuti minimi, mentre è lasciata alla discrezione dell'utente, sulla base delle proprie necessità, l'iniziativa di assumere per detta scheda vesti tipografiche ritenute più idonee o di integrare la stessa con altri dati e notizie. In altri termini, l'articolo mira ad assicurare la presenza di un quantitativo di informazioni indispensabili per il corretto esercizio della radioprotezione dei lavoratori, pur garantendo la massima flessibilità nei riguardi di eventuali particolari necessità in campi atipici, quali ad esempio la sperimentazione scientifica<sup>gg</sup>.

---

<sup>ff</sup> In caso di lavoratori di paesi esteri, per i quali lo Stato di origine non preveda l'istituzione del libretto, l'esercente è tenuto ad ottemperare agli obblighi di cui all'art. 63 mediante altra idonea certificazione.

<sup>gg</sup> Viene così a scomparire la necessità di autorizzare l'adozione di modelli particolari, come viceversa prevedeva il D.M. 449/90, con indiscutibile vantaggio per l'utenza e per l'Amministrazione. Inoltre, per motivi di semplificazione, si è ritenuto opportuno eliminare la scheda mod. B del D.M. 449/90, prevedendo un unico modello per qualunque tipo di esposizione.



I punti da 8 a 10 disciplinano il documento sanitario personale. Anche in questo caso il modello fissa solo i contenuti minimi e pertanto l'utente ne può cambiare la veste tipografica o integrarlo con altri dati e notizie senza alcuna autorizzazione da parte dell'Amministrazione del Lavoro. Il nuovo modello tiene conto sia dell'obbligo di estendere la sorveglianza medica a tutti i lavoratori esposti alle radiazioni ionizzanti, sia della necessaria compatibilità con il D. Lgs. 626/94, in concomitanza di rischi da altri agenti nocivi per i quali la normativa vigente prevede un giudizio di idoneità<sup>hh</sup>.

Nel caso in cui il medico incaricato della sorveglianza fisica sia diverso dal medico competente incaricato per gli altri fattori di rischio, ognuno dei due provvede a compilare il documento per la parte di propria competenza e con la periodicità prevista per lo specifico rischio.

Il punto 11 tratta della modalità di istituzione della documentazione. Come è previsto nel D.Lgs. 230/95, l'istituzione è compito rispettivamente dell'esperto qualificato e del medico incaricato della sorveglianza medica ed il datore di lavoro, in quanto responsabile in ogni caso della corretta gestione della radioprotezione, appone la firma in calce alla prima pagina dei documenti<sup>ii</sup>. Il punto 12 riproduce quanto già previsto nel D.M. 449/90.

Il punto 13 prevede la possibilità di impiegare sistemi di elaborazione automatica dei dati per la memorizzazione della scheda personale dosimetrica e del documento sanitario personale. A tale proposito, in analogia alla abolizione della vidimazione dei documenti, è stato eliminato il precedente procedimento autorizzativo<sup>jj</sup>.

Sono previste infine al punto 14 norme a carattere transitorio e finale per garantire il necessario raccordo con la normativa precedente. In particolare è consentito l'uso dei registri già istituiti, in quanto tecnicamente possibile e compatibile con le nuove norme.

Per quanto riguarda le nuove schede personali e i nuovi documenti sanitari è concesso un anno per la loro istituzione<sup>kk</sup>.

E' stato necessario inserire l'obbligo di trasmissione delle schede dosimetriche relative ai rapporti individuali di lavoro cessati prima del 01/01/96, per evitare il rischio della loro dispersione, essendo venuto a cessare, allorquando è entrato in vigore il D. Lgs. 230/95, l'obbligo di conservazione delle stesse da parte dei datori di lavoro previsto dall'art. 74 del D.P.R.185/64. A questo proposito, nel sot-

---

hh Si è così evitata la necessità, in tali casi, di istituire due documenti sanitari per lo stesso lavoratore e, nell'ipotesi di affidamento dell'incarico ad un medico in possesso di entrambi i requisiti (medico autorizzato e medico competente), la necessità di effettuare accertamenti medici distinti.

ii Non è più prevista pertanto la vidimazione da parte delle Direzioni provinciali del lavoro.

jj Sono stati comunque fissati dei criteri a cui devono rispondere i predetti sistemi, per assicurare, per quanto possibile, l'inalterabilità dei dati, di cui è responsabile il datore di lavoro.

kk Durante detto periodo possono essere usati i vecchi modelli, eventualmente integrati con le notizie richieste dai nuovi. In ogni caso il D.M. 449/90 è abrogato dall'1/1/2001 e pertanto non esiste più l'obbligo di vidimazione.



tolineare nuovamente la modifica dell'art. 90, comma 4, si fa presente che le schede ed i documenti sanitari devono essere trasmessi all'ISPESL – Dipartimento di Medicina del Lavoro – e non più all'Ispettorato Medico Centrale.

Passando ad analizzare il contenuto della documentazione di sorveglianza fisica, si rileva che il libretto personale, che a differenza delle schede dosimetriche e del documento sanitario, è composto da diverse sezioni e le notizie riportate sono praticamente imposte dalla Direttiva 90/641.

Una prima parte riguarda i dati occupazionali ed è praticamente equivalente ad un libretto di lavoro. Vengono poi inseriti i giudizi di idoneità con i relativi periodi di validità, che devono essere trascritti dal medico autorizzato.

Due sezioni successive riguardano la sorveglianza dosimetrica.

La prima deve essere compilata dall'esperto qualificato del datore di lavoro riportando le dosi totali e/o parziali limitatamente agli organi per cui sono previsti limiti di tipo deterministico (cristallino, pelle, estremità). Si è ritenuto che tali dati siano sufficienti per consentire all' esercente il controllo, del rispetto dei limiti di dose, prima di esporre un lavoratore esterno. La successiva sezione deve essere generalmente compilata dall'esperto qualificato al termine di ogni intervento. In caso fosse impossibile valutare la dose subito dopo l'intervento, l'esperto può comunicare successivamente i dati e sarà cura dell'esperto qualificato provvedere alla trascrizione sul libretto.

In questo caso il contenuto è molto più completo e ricalca la scheda dosimetrica.

Nel modello di scheda sono state introdotte le nuove grandezze dosimetriche ed i dati necessari per la valutazione della dose (dose equivalente, dose efficace, dose efficace impegnata, tipo di ritenzione polmonare, fattore di transito intestinale), nonché le modalità da seguire per indicare separatamente, come previsto dalla direttiva, le dosi derivanti da esposizioni accidentali, di emergenza, soggette ad autorizzazione speciale o da sorgenti naturali di radiazioni.

E' stata infine prevista, ai fini del rispetto dei limiti di dose, l'indicazione della dose assorbita presso altri datori di lavoro o come lavoratore autonomo.

Il documento sanitario non è molto diverso dal precedente e l'unica novità rilevante è, come già detto, la previsione di altri fattori di rischio concomitanti.

E' stato, infine, abrogato il limite di età di 45 anni, previsto dagli artt. 9 e 15 del D.P.R. 1450/70, ai fini del rilascio dell'attestato d'idoneità alla direzione e della patente per la conduzione degli impianti nucleari.

Legislazione successiva inerente la protezione da radiazioni ionizzanti:

- Decreto Ministeriale 11/06/2001: Regolamento recante criteri indicativi per la valutazione dell'idoneità dei lavoratori all'esposizione alle radiazioni ionizzanti, ai sensi dell'articolo 84, comma 7, del decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230.
- Decreto Ministeriale 03/10/2001: Decreto di attuazione dell'art. 39, comma 2, del decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241, che stabilisce

- l'ammontare della spesa per il rilascio dei libretti personali di radioprotezione di cui all'allegato XI del decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, come modificato dal decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241.
- Decreti Ministeriali 20/11/2001: Rivalutazione delle rendite in favore dei medici colpiti da malattie e da lesioni causate dall'azione dei raggi X e delle sostanze radioattive, con decorrenza 1 luglio 2001. Determinazione della retribuzione convenzionale per la liquidazione delle rendite INAIL per i tecnici sanitari di radiologia medica.
  - Legge 01/03/2002, n. 39: Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità europee. Legge comunitaria 2001.
  - Circolare I.S.P.E.S.L.: Nuove modalità di trasmissione della Documentazione relativa ai lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti ai sensi del D. Lgs. 230/1995 e successive modifiche ed integrazioni (D.Lgs 241/2000 e D.Lgs 257/2001).
  - Decreto Interministeriale 18/12/2002: Rivalutazione delle prestazioni economiche erogate dall'INAIL a favore dei medici colpiti da malattie e da lesioni causate dall'azione dei raggi X e delle sostanze radioattive, con decorrenza 1 luglio 2002. Determinazione della retribuzione convenzionale per la liquidazione delle rendite INAIL per i tecnici sanitari di radiologia medica.
  - Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 07/03/2003: Dichiarazione dello stato di emergenza in relazione all'attività di smaltimento dei rifiuti radioattivi dislocati nelle regioni Lazio, Campania, Emilia-Romagna, Basilicata e Piemonte, in condizioni di massima sicurezza.
  - Ordinanza 03/04/2003: Piano delle misure preliminari di adeguamento della protezione fisica ed attività finalizzate alla progressiva riduzione del livello di rischio delle centrali e degli impianti nucleari. Strutture di supporto. Criteri di protezione fisica delle centrali e degli impianti nucleari.
  - Ordinanza 11/04/2003: Piano delle misure preliminari di adeguamento della protezione fisica e delle attività finalizzate alla progressiva riduzione del livello di rischio degli impianti nucleari. Prescrizioni per l'allontanamento dei materiali solidi derivanti dallo smantellamento delle centrali nucleari e degli impianti nucleari di produzione e di ricerca del ciclo del combustibile. Piano delle misure preliminari di adeguamento della protezione fisica e delle attività finalizzate alla progressiva riduzione del livello di rischio degli impianti nucleari.
  - Ordinanza 25/06/2003: Trasferimento delle licenze e delle autorizzazioni dell'impianto di fabbricazione del combustibile nucleare di proprietà di FN - Nuove Tecnologie e Servizi Avanzati S.p.a. a SO.G.I.N. S.p.a. e distacco del relativo personale.

**Allegato A: Referenze bibliografiche degli studi ottenuti (distinte per motivi di fruibilità da quelle della pubblicazione)****Sezione A: Studi di interesse generale e reviews**

- 1 International Commission on Radiological Protection – ICRP. Disponibile al sito: [www.icrp.org](http://www.icrp.org).
- 2 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic RADIATION (unscear): Source and Effects of Ionising Radiation, UN Publication E, 1977;77(ix).
- 3 Coggle JE. Effetti biologici delle radiazioni. Ediz. Minerva Medica, Torino, 1998.
- 4 Rischio Ultravioletto. Esposizione al sole, usi terapeutici e cosmetici, attività industriali. Atti del Convegno Trento 2000
- 5 David HS, Stephen LT. Medical Lasers and Their Safe Use. Springer – Verlag New York Inc., 1993.
- 6 International Agency for Research on Cancer. Ionizing Radiation, Part I. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, IARC 1999;75. Disponibile al sito: <http://193.51.164.11/htdocs/announcements/vol75.htm>.
- 7 Ivanov VK, Tsyb AF, Gorsky AI, Maksyutov MA, Rastopchin EM, Konogorov AP, Korelo AM, Biryukov AP, Matyash VA. Leukaemia and thyroid cancer in emergency workers of the Chernobyl accident: estimation of radiation risks (1986-1995). Radiation and Environmental Biophysics 1997;36:9-16.
- 8 Wang JX, Zhang LA, Li BX, Zhao YC, Wang ZQ, Zhang JY, Aoyama T. Cancer incidence and risk estimation among medical x-ray workers in China, 1950-1995. Health Physics 2002;82:455-466.
- 9 Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. Radiation Research 2000;154:178-186.
- 10 Wilkinson GS, Dreyer NA. Leukemia among nuclear workers with protracted exposure to low-dose ionizing radiation. Epidemiology 1991; 2: 305-309.
- 11 De Angelis G, Caldora M, Santaquilani M, Scipione R, Verdecchia A. Radiation-induced biological effect on crew members: a combined analysis on atmospheric flight personnel. Physica Medica 2001; 27 (Suppl.1): 173-174.
- 12 Saku T, Hayashi Y, Takahara O, Matsuura H, Tokunaga M, Tokuoka S, Soda M, Mabuchi K, Land CE. Salivary gland tumors among atomic bomb survivors, 1950-1987. Cancer 1996;146:28-36.
- 13 Ron E. Ionizing radiation and cancer risk: evidence from epidemiology. Radiation Research 1998;150(suppl. 5):S30-41.
- 14 Richardson DBWing S, Hoffmann W. Cancer risk from low-level ionizing radiation: the role of age at exposure. Occupational Medicine 2001;16:191-218.

- 15 Pukkala E, Aspholm R, Auvinen A, Eliasch H, Gundestrup M, Haldorsen T, Hammar N, Hrafnkelsson J, Kyyronen P, Linnertsjo A, et al. Incidence of cancer among Nordic airline pilots over five decades: occupational cohort study. *BMJ* 2002;325:567-571.
- 16 Tokunaga M, Land CE, Tokuoka S, Nishimori I, Soda M, Akiba S. Incidence of female breast cancer among atomic bomb survivors, 1950-1985. *Radiation Research* 1994;138:209-223.
- 17 Haldorsen T, Reitan JB, Tveten U. Cancer incidence among Norwegian airline cabin attendants. *International Journal of Epidemiology* 2001;30:825-830.
- 18 Pukkala E, Auvinen A, Wahlberg G. Incidence of cancer among Finnish airline cabin attendants, 1967-92. *BMJ* 1995;311:649-652.
- 19 Mohan AK, Hauptmann M, Freedman DM, Ron E, Matanoski GM, Lubin JH, Alexander BH, Boice JD Jr, Morin Doody M, Linet MS. Cancer and other causes of mortality among radiologic technologists in the United States. *International Journal of Cancer* 2003;103:259-267.
- 20 Freedman DM, Sigurdson A, Rao RS, Hauptmann M, Alexander B, Mohan A, Doody MM, Linet MS. Risk of melanoma among radiologic technologists in the United States. *International Journal of Cancer* 2003;103:556-562.
- 21 Dainiak N. Hematologic consequences of exposure to ionizing radiation. *Experimental Hematology* 2002;30:513-528.
- 22 Hall P, Holm LE. Radiation-associated thyroid cancer – facts and fiction. *Acta Oncologica* 1998;34:325-330.
- 23 Cosset JM. Radiation-induced cancers: state of the art in 1997. *Cancer Radiotherapy* 1997;1:823-835.
- 24 Review of concepts, quantities, units and terminology for non-ionizing radiation protection. *Health Physics* 1985;49:1329-1362. Disponibile al sito: <http://www.icnirp.org/puballNIR.htm>.
- 25 International Agency for Research on Cancer. Solar and Ultraviolet Radiation. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, IARC 1992;55. Disponibile al sito: <http://193.51.164.11/htdocs/monographs/vol55/solar-and-uv-radiation.htm>.
- 26 Ron E, Preston DL, Kishikawa M, Kobuke T, Iseki M, Tokuoka S, Tokunaga M, Mabuchi K. Skin tumor risk among atomic-bomb survivors in Japan. *Cancer Causes and Control* 1998;9:393-401.
- 27 Grant WB. An estimate of premature cancer mortality in the U.S. due to inadequate doses of solar ultraviolet-B radiation. *Cancer* 2002;94:1867-1875.
- 28 Elwood JM, Jopson J. Melanoma and sun exposure: an overview of published studies. *International Journal of Cancer* 1997;73:198-203.
- 29 Nelemans PJ, Rampen FHJ, Ruiter DJ, Verbeek ALM. An addition to the controversy on sunlight exposure and melanoma risk: a meta-analytical approach. *Journal of Clinical Epidemiology* 1995;48:1331-1342.

- 30 Cooper GS, Miller FW, Germolec DR. Occupational exposures and autoimmune diseases. *International Immunopharmacology* 2002;2:303-313.
- 31 Guenel P, Laforest L, Cyr D, Fevotte J, Sabroe S, Dufour C, Lutz JM, Lynge E. Occupational risk factors, ultraviolet radiation, and ocular melanoma: a case-control study in France. *Cancer Causes and Control* 2001;12:451-459.
- 32 Yin L, Morita A, Tsuji T. Skin aging induced by ultraviolet exposure and tobacco smoking: evidence from epidemiological and molecular studies. *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine* 2001;17:178-183.
- 33 Stern RS; The PUVA Follow up Study. The risk of melanoma in association with long-term exposure to PUVA. *Journal of American Academy of Dermatology* 2001;44:755-761.
- 34 Bajdik CD, Gallagher RP, Astrakianakis G, Hill GB, Fincham S, McLean DI. Non-solar ultraviolet radiation and the risk of basal and squamous cell skin cancer. *British Journal of Cancer* 1996;73:1612-1614.
- 35 Swerdlow AJ, English JS, MacKie RM, O'Doherty CJ, Hunter JA, Clark J, Hole DJ. Fluorescent lights, ultraviolet lamps, and risk of cutaneous melanoma. *BMJ* 1988;297:647-650.
- 36 Green A, Siskind V, Bain C, Alexander J. Sunburn and malignant melanoma. *British Journal of Cancer* 1985;51:393-397.
- 37 Fears TR, Bird CC, Guerry D, Sagebiel RW, Gail MH, Elder DE, Halpern A, Holly EA, Hartge P, Tucker MA. Average midrange ultraviolet radiation flux and time outdoors predict melanoma risk. *Cancer Research* 2002;62:3992-3996.
- 38 Pukkala E, Saarni H. Cancer incidence among Finnish seafarers, 1967-92. *Cancer Causes and Control* 1996;7:231-239.
- 39 Stern RS. Genital tumors among men with psoriasis exposed to psoralens and ultraviolet A radiation (PUVA) and ultraviolet B radiation. The Photochemotherapy Follow-up Study. *New England Journal of Medicine* 1990;322:1093-1097
- 40 Zuclich JA, Stolarski DJ. Retinal damage induced by red diode laser. *Health Physics* 2001;81:8-14.
- 41 Mariutti GF. Protection of occupational exposed people from ultraviolet radiation: in Fisher G, *Environmental UV-R, Risk of Skin Cancer and Primary Prevention*. Stuttgart 1994:195-211.
- 42 Termorshuizen F, Garssen J, Norval M, Koulu L, Laihia J, Leino L, Jansen CT, De Gruijl F, Gibbs NK, De Simone C, Van Loveren H. A review of studies on the effects of ultraviolet irradiation on the resistance to infections: evidence from rodent infection models and verification by experimental and observational human studies. *International Immunopharmacology* 2002;2:263-275.

- 43 Zanetti R, Tumino R. Ultraviolet radiation and skin tumors. *Medicina del Lavoro* 1998;89:142-148.
- 44 Hudson SJ. Eye injuries from laser exposure: a review. *Aviation and Space Environmental Medicine* 1998;69:519-524.
- 45 Blustein D, Blustein J. Occupational exposure to laser surgery generated air contaminants. *WMJ* 1998;97:52-55.
- 46 Suarez-Varela MM, Llopis Gonzalez A, Ferrer Caraco E. Non-melanoma skin cancer: a case-control study on risk factors and protective measures. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology* 1996;15:255-261.
- 47 Dunn-Lane J, Herity B, Moriarty MJ, Conroy R. A case control study of malignant melanoma. *Irish Medical Journal* 1993;86:57-59.
- 48 Herity B, O'Loughlin G, Moriarty MJ, Conroy R. Risk factors for non-melanoma skin cancer. *Irish Medical Journal* 1989;82:151-152.
- 49 Tucker MA, Shields JA, Hartge P, Augsburg J, Hoover RN, Fraumeni JF Jr. Sunlight exposure as risk factor for intraocular malignant melanoma. *New England Journal of Medicine* 1985 Sep 26;313(13):789-92
- 50 Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230, modificato dal DL 241/2000 (43) e dal DL 257/2001 (45). Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti – Testo modificato ed integrato. Disponibile al sito:  
<http://www.unict.it/spp/Documenti/Radioprotezione/DLgs17marzo1995n230II.pdf>
- 51 Decreto del Ministero della Sanità 11 giugno 2001, n. 488, Regolamento recante criteri indicativi per la valutazione dell'idoneità dei lavoratori all'esposizione alle radiazioni ionizzanti, ai sensi dell'articolo 84, comma 7, del decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230. Pubblicato in *Gazzetta Ufficiale*, 5 aprile 2002, serie generale n. 80. Disponibile al sito:  
[http://www.aimn.it/lex/DM.Sanita\\_11.6.01\\_488.html](http://www.aimn.it/lex/DM.Sanita_11.6.01_488.html)
- 52 Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626, Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/629/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE, 93/88/CEE, 95/63/CEE, 97/42, 98/24 e 99/38 riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori. Pubblicato in *Gazzetta Ufficiale*, 12 novembre 1994, serie generale n.265, suppl. ordinario n. 141. Testo integrato disponibile al sito:  
<http://www.uilcemsicilia.org/leggi/testi/legge02.htm>
- 53 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. Pubblicato in *Gazzetta Ufficiale*, 7 luglio 2000, serie generale n. 157. Disponibile al sito:  
<http://www.unict.it/spp/Documenti/Radioprotezione/DLgs26maggio2000n187.pdf>
- 54 Decreto Legislativo 26 marzo 2000, n. 241, Attuazione delle direttive 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei



- lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Pubblicato in Gazzetta Ufficiale, 31 agosto 2000, serie generale n. 203, suppl. ordinario n. 140/L. Disponibile al sito:  
<http://gazzette.comune.jesi.an.it/2000/203/11.htm>.
- 55 Decreto Legislativo 9 maggio 2001, n. 257, Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 26 maggio 2000, n. 241, recante attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti. Pubblicato in Gazzetta Ufficiale, 4 luglio 2001, serie generale n. 153. disponibile al sito:  
<http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/testi/01257dl.htm>.
- 56 Associazione Italiana di Radioprotezione Medica - AIRM. Il nuovo DM sui criteri di idoneità. Aggiornamenti di radioprotezione 2002;1:34-35.
- 57 Land CE. Uncertainty, low-dose extrapolation and the threshold hypothesis. *J Radiol Prot* 2002 Sep;22(3A):A129-35.
- 58 Puskin JS, Nelson CB. Estimates of radiogenic cancer risks. *Health Phys* 1995 Jul;69(1):93-101.
- 59 Tubiana M. Radiation risks in perspective: radiation-induced cancer among cancer risks. *Radiat Environ Biophys* 2000 Mar;39(1):3-16.

## Sezione B: Raggruppamento funzionale degli articoli rinvenuti

1A. Studi relativi a radiologi, personale tecnico di radiologia, medici e dentisti che utilizzano sorgenti di RI a scopo diagnostico o terapeutico, considerati nel presente report.

- 60 Andersson M, Engholm G, Eonow K, Jessen KA, Storm HH. Cancer risk among staff at two radiotherapy departments in Denmark. *Brit J Radiol* 1991;64:455-60.
- 61 Berrington A. 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997. *Br J Radiol* 2001;74(882):507-19.
- 62 Brenner DJ, Hall EJ. Mortality patterns in British and US radiologists: what can we really conclude? *Br J Radiol* 2003;76(901):1-2.
- 63 Cameron JR. Radiation increased the longevity of British radiologists. *Br J Radiol* 2002;75:637-40.
- 64 Daunt N. Decreased cancer mortality of British radiologists. *Brit J Radiol* 2002;75:639-40.
- 65 Doody MM, Mandel JS, Boice JD Jr. Employment practices and breast cancer among radiologic technologists. *J Occup Environ Med* 1995 Mar;37(3):321-27.

- 66 Doody MM, Mandel JS, Lubin JH, Boice JD. Mortality among United States radiologic technologists, 1926-90. *Cancer Causes Control* 1998;9(1):67-75.
- 67 Freedman DM, Sigurdson A, Rao SR, et al. Risk of melanoma among radiologic technologists in the United States. *Int J Cancer* 2003;103(4):556-62.
- 68 Hauptmann M, Mohan AK, Doody MM, Linet MS, Mabuchi K. Mortality from diseases of the circulatory system in radiologic technologists in the United States. *Am J Epidemiol* 2003;157(3):239-48.
- 69 Logue JN, Barrick MK, Jessup GL. Mortality of radiologists and pathologists in the Radiation Registry of Physicians. *J Occup Med* 1986;28(2):91-9.
- 70 Matanoski GM, Sartwell P, Elliot E, et al. Cancer risk in radiologists and radiation workers. In: Boice JD, Fraumeni JF, eds. *Radiation carcinogenesis: epidemiology and biological significance*. New York, NY: Raven Press, 1984:83-96.
- 71 Mohan AK, Hauptmann M, Freedman MD, et al. Cancer and other causes of mortality among radiologic technologists in the United States. *Int J Cancer* 2003 10;103(2):259-67.
- 72 Mohan AK, Hauptmann M, Linet MS, et al. Breast cancer mortality among female radiologic technologists in the United States. *J Natl Cancer Inst* 2002;94(12):943-8.
- 73 Sherwood T. 100 years' observation of risk from radiation for British (male) radiologists. *Lancet* 2001;358:604.
- 74 Sigurdson AJ, Doody MM, Rao RS, et al. Cancer incidence in the US radiologic technologists health study, 1983-98. *Cancer* 2003;97:3080-9.
- 75 Wang JX, Zhang LA, Li BX, et al. Cancer incidence and risk estimation among medical x-ray workers in China, 1950-1995. *Health Phys* 2002;82(4):455-66.

1B. Studi relativi a radiologi, personale tecnico di radiologia, medici e dentisti che utilizzano sorgenti di RI a scopo diagnostico o terapeutico, non considerati nel presente report.

- 76 Aoyama T, Yoshinaga S, Yamamoto Y, Kato H, Shimuzu Y, Sugahara T. Mortality survey of Japanese radiological technologists during the period 1969-1993. *Radiat Protect Dosim* 1998;77:123-8.
- 77 Boice JD, Mandel JS, Doody MM, Yader RC, McGowan R. A health survey of radiologic technologist. *Cancer* 1992;69:586-98.
- 78 Carstensen JM, Wingren G, Hatscheck T, Fredriksson M, Noorlind-brage H, Axelson O. Occupational risks of thyroid cancer: data from the Swedish Cancer-Environment Register, 1961-1979. *Am J Ind Med* 1990;18:535-540.



- 79 Inskip PD, Ekbom A, Galanti MR, Grimelius L, Boice JD. Medical diagnostic x-rays and thyroid cancer. *J Natl Cancer Inst* 1995;87:1613-21.
- 80 Jablon S, Miller RW. Army technologists: 29-year follow up for cause of death. *Radiology* 1978;126:677-79.
- 81 Matanoski GM, Seltser R, Sartwell PE, et al. The current mortality rates of radiologists and other physician specialists. Specific causes of death. *Am J Epidemiol* 1975;101:199-210.
- 82 Smith PG, Doll R. Mortality from cancer and all causes among British radiologists. *Brit J Radiol* 1981;54:187-94.
- 83 Wang JX, Inskip PD, Boice JD, et al. Cancer incidence among medical diagnostic X-ray workers in China, 1950 to 1985. *Int J Cancer* 1990;45:889-95.

2A. Studi relativi a piloti o equipaggio di aerei, considerati nel presente report.

- 84 Band PR, Le ND, Fang R, et al. Cohort study of Air Canada pilots: mortality, cancer incidence and leukemia risk. *Am J Epidemiol* 1996;143:137-43.
- 85 Band PR, Spinelli JJ, Ng VTY, Moody J, Gallagher RP. Mortality and cancer incidence in a cohort of commercial airline pilots. *Aviat Space Environ Med* 1990;61:299-302.
- 86 Grayson JK, Lyons TJ. Cancer incidence in United States Air Force aircrew, 1975-89. *Aviat Space Environ Med* 1996;67:101-4.
- 87 Grayson JK. Radiation exposure, socioeconomic status, and brain tumor risk in the US air force: a nested case-control study. *Am J Epidemiol* 1996;143:480-6.
- 88 Haldorsen T, Reitan JB, Tveten U. Cancer incidence among Norwegian airline cabin attendants. *International Journal of Epidemiology* 2001;30:825-830.
- 89 Hammar N, Linnarsjo A, Alfredsson L, Dammstrom BG, Johansson M, Eliasch H. Cancer incidence in airline and military aircraft pilots in Sweden 1961-1996. *Aviat Space Environ Med* 2002;73:2-7.
- 90 Irvine D, Davies DM. British airways flightdeck mortality study, 1950-92. *Aviat Space Environ Med* 1999;70:548-55.
- 91 Irvine D, Davies DM. The mortality of British Airways pilots, 1966-1989: a proportional mortality study. *Aviat Space Environ Med* 1992;63:276-79.
- 92 Kaji M, Tango T, Asukata I, et al. Mortality experience of cockpit crewmembers from Japan Airlines. *Aviat Space Environ Med* 1993;64:748-50.
- 93 Lynge E. Risk of breast cancer is also increased among Danish female airline cabin attendants. *BMJ* 1996;312:253.
- 94 Paridou A, Velonakis E, Langner I, Zeeb H, Blettner M, Tzonou A. Mortality among pilots and cabin crew in Greece, 1960-1997. *Int J Epidemiol* 2003;32:244-7.

- 95 Pukkala E, Aspholm R, Auvinen A, Eliasch H, Gundestrup M, Haldorsen T, Hammar N, Hrafnkelsson J, Kyyronen P, Linnertsjo A, et al. Incidence of cancer among Nordic airline pilots over five decades: occupational cohort study. *BMJ* 2002;325:567-571.
- 96 Pukkala E, Auvinen A, Wahlberg G. Incidence of cancer among Finnish airline cabin attendants, 1967-92. *BMJ* 1995;311:649-652.
- 97 Reynolds P, Cone J, Layefsky M, Goldberg DE, Hurley S. Cancer incidence in California flight attendants (United States). *Cancer Causes Control* 2002;13:317-324.
- 98 Salisbury DA, Band PR, Threlfall WJ, Gallagher RP. Mortality among British Columbia pilots. *Aviat Space Environ Med* 1991;62:351-2.
- 99 Vagero D, Swerdlow AJ, Beral V. Occupation and malignant melanoma: a study based on cancer registration data in England and Wales and in Sweden. *Br J Ind Med* 1990;47:317-24.
- 100 Zeeb H, Blettner M, Hammer GP, Langner I. Cohort mortality study of German cockpit crew, 1960-1997. *Epidemiology* 2002 Nov;13(6):693-99.
- 101 Zeeb H, Blettner M, Langner I, et al. Mortality from cancer and other causes among airline cabin attendants in Europe: a collaborative cohort study in eight countries. *Am J Epidemiol* 2003;158:35-46.

2B. Studi relativi a piloti o equipaggio di aerei, non considerati nel presente report.

- 102 Ballard T, Lagorio S, De Angelis G, Verdecchia A. Cancer incidence and mortality among flight personnel: a meta-analysis. *Aviat Space Environ Med* 2000 Mar;71(3):216-24.
- 103 Ballard TJ, Lagorio S, De Santis M, et al. A retrospective cohort mortality study of Italian commercial airline cockpit crew and cabin attendants, 1965-96. *Int J Occup Environ Health* 2002;Apr-Jun;8(2):87-96.
- 104 Blettner M, Grosche B, Zeeb H. Occupational cancer risk in pilots and flight attendants: current epidemiological knowledge. *Radiat Environ Biophys* 1998;37:75-80.
- 105 Blettner M, Zeeb H, Langner I, Hammer GP, Schafft T. Mortality from cancer and other causes among airline cabin attendants in Germany, 1960-1997. *Am J Epidemiol* 2002;156:556-65.
- 106 Boice JD Jr, Blettner M, Auvinen A. Epidemiologic studies of pilots and aircrew. *Health Phys* 2000 Nov;79(5):576-84.
- 107 Grayson JK, Lyons TJ. Brain cancer, flying, and socioeconomic status: a nested case-control study of USAF aircrew. *Aviat Space Environ Med* 1996;67:1152-4.
- 108 Gundenstrup M, Storm HH. Radiation-induced acute myeloid leukaemia and other cancers in commercial jet cockpit crew: a population based cohort study. *Lancet* 1999;354:2029-31.

- 109 Haldorsen T, Reitan JB, Tveten U. Cancer incidence among Norwegian airline pilots. *Scand J Work Environ Health* 2000 Apr;26(2):106-11.
- 110 Lim MK. Cosmic rays: are air crew at risk? *Occup Environ Med* 2002;59:428-433.
- 111 Oksanen PJ. Estimated individual annual cosmic radiation doses for flight crews. *Aviat Space Environ Med* 1998;69:621-5.
- 112 Rafnsson V, Hrafnkelsson J, Tulinius H. Incidence of cancer among commercial airline pilots. *Occup Environ Med* 2000;57:175-9.
- 113 Stewart T, Stewart N. Breast cancer in female flight attendants. *Lancet* 1995;346:1379.

3A. Studi relativi a personale tecnico di supporto alla lavorazione dell'Uranio o alla manutenzione delle centrali atomiche, o ancora a personale dell'esercito impiegato in sommergibili atomici o nella sperimentazione di armi atomiche, considerati nel presente report.

- 114 Abylkassimova Z, Gusev B, Grosche B, Bauer S, Kreuzer M, Trott K. Nested case-control study of leukemia among a cohort of persons exposed to ionizing radiation from nuclear weapon tests in kazakhstan (1949-1963). *Ann Epidemiol* 2000 Oct 1;10(7):479.
- 115 Acquavella JF, Wiggs LD, Waxweiler RJ, MacDonnell DG, Tietjen GL, Wilkinson GS. Mortality among workers at the Pantex weapons facility. *Health Phys* 1985;48:735-46.
- 116 Auvinen A, Pukkala E, Hyvonen H, Hakama M, Rytomaa T. Cancer incidence among Finnish nuclear reactor workers. *J Occup Environ Med* 2002 Jul;44(7):634-8.
- 117 Beral V, Fraser P, Carpenter L, Booth M, Brown A, Rose G. Mortality of employees of the Atomic Weapons Establishment, 1951-82. *BMJ* 1988 Sep 24;297:757-70.
- 118 Cardis E, Gilbert ES, Carpenter L, et al. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. *Radiat Res* 1995 May;142(2):117-32.
- 119 Carpenter L, Higgins C, Douglas A, Fraser P, Beral V, Smith P. Combined analysis of mortality in three United Kingdom nuclear industry workforces, 1946-1988. *Radiat Res* 1994 May;138(2):224-38.
- 120 Carpenter LM, Higgins CD, Douglas AJ, et al. Cancer mortality in relation to monitoring for radionuclide exposure in three UK nuclear industry workforces. *Br J Cancer* 1998;78(9):1224-32.
- 121 Doyle P, Maconochie N, Roman E, Davies G, Smith PG, Beral V. Fetal death and congenital malformation in babies born to nuclear industry employees: report from the nuclear industry family study. *Lancet*. 2000;356:1293-9.

- 122 Doyle P, Roman E, Maconochie N, Davies G, Smith PG, Beral V. Primary infertility in nuclear industry employees: report from the nuclear industry family study. *Occup Environ Med* 2001;58:535-39.
- 123 Dupree-Ellis E, Watkins J, Ingle NJ, Joyce P. External radiation exposure and mortality in a cohort of uranium processing workers. *Am J Epidemiol* 2000 Jul 1;152(1):91-5.
- 124 Gilbert ES, Cragle DL, Wiggs LD. Updated analysis of combined mortality data on workers at the Hanford site, Oak Ridge National Laboratory, and Rocky Flats weapons plant. *Radiat Res* 1993;136:408-21.
- 125 Gribbin MA, Weeks JL, Howe GR. Cancer mortality (1956-1985) among male employees of Atomic Energy of Canada Limited with respect to occupational exposure to external low-linear-energy-transfer ionizing radiation. *Radiat Res* 1993 Mar;133(3):375-80.
- 126 IARC Study Group on Cancer Risk among Nuclear Industry Workers. Direct estimates of cancer mortality due to low doses of ionizing radiation: an international study. *Lancet* 1994;344:1039-43.
- 127 Iwasaki T, Murata M, Ohshima S, et al. Second analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan, 1986-1997. *Radiat Res* 2003 Feb;159(2):228-38.
- 128 Jablon S, Boice JD Jr. Mortality among workers at a nuclear power plant in the United States. *Cancer Causes Control* 1993 Sep;4(5):427-30.
- 129 Kendall GM, Muirhead CR, MacGibbon BH, et al. Mortality and occupational exposure to radiation: first analysis of the National Registry for Radiation Workers. *BMJ* 1992 Jan 25;304:220-5.
- 130 Muirhead CR, Bingham D, Haylock RGE, et al. Follow up of mortality and incidence of cancer 1952-98 in men from the UK who participated in the UK's atmospheric nuclear weapon tests and experimental programmes. *Occup Environ Med* 2003;60:165-72.
- 131 Omar RZ, Barber JA, Smith PG. Cancer mortality and morbidity among plutonium workers at the Sellafield plant of British Nuclear Fuels. *Br J Cancer* 1999;79:1288-1301.
- 132 Rinsky RA, Zumwalde RD, Waxeiler RJ, et al. Cancer mortality at a Naval Nuclear Shipyard. *Lancet* 1981;1:231-35.
- 133 Ritz B, Morgenstern H, Froines J, Batts Young B. Effects of exposure to external ionizing radiation on cancer mortality in nuclear workers monitored for radiation at Rocketdyne/Atomics International. *Am J Ind Med* 1999 Jan;35(1):21-31.
- 134 Ritz B, Morgenstern H, Moncau J. Age at exposure modifies the effects of low-level ionizing radiation on cancer mortality in an occupational cohort. *Epidemiology* 1999 Mar;10(2):135-40.
- 135 Ritz B. Radiation exposure and cancer mortality in uranium processing workers. *Epidemiology* 1999 Sep;10(5):531-8.
- 136 Robinette CD, Jablon S, Preston DL. Mortality of Nuclear weapons test

- participants. Washington DC: National Academy Press, 1985:1-47.
- 137 Roman E, Doyle P, Maconochie N, Davies G, Smith PG, Beral V. Cancer in children of nuclear industry employees: report from the nuclear industry family study. *BMJ* 1999;318:1443-50.
  - 138 Shilnikova NS, Preston DS, Vassilendo EK, et al. Cancer risk among workers at the Russian Nuclear Complex Mayak. In: *Radiation Research, Volume 2. Proceedings of the 11th International Congress of Radiation Research*. Moriarty M, Mothersill C, Seymour C, et al., eds. Lawrence KS: Allen Press, 2000:766-69.
  - 139 Wiggs LD, Cox-DeVore CA, Voelz GL, Reyes M. Mortality among workers exposed to external ionizing at a nuclear facility. *J Occup Med* 1991;33:632-37.
  - 140 Wiggs LD, Johnson ER, Cox-DeVore CA, Voelz GL. Mortality through 1990 among white male workers at the Los Alamos National Laboratory: considering exposures to plutonium and external ionizing radiation. *Health Phys* 1994 Dec;67(6):577-88.
  - 141 Wing S, Richardson D, Wolf S, Mihlan G, Crawford-Brown D, Wood J. A case control study of multiple myeloma at four nuclear facilities. *Ann Epidemiol* 2000 Apr;10(3):144-53.
  - 142 Wing S, Shy CM, Wood JL, et al. Job factors, radiation and cancer mortality at Oak Ridge National Laboratory: follow-up through 1984. *Am J Ind Med* 1993 Feb;23(2):265-79.
  - 143 Wing S, Shy CM, Wood JL, Wolf S, Cragle DL, Frome EL. Mortality among workers at Oak Ridge National Laboratory. Evidence of radiation effects in follow-up through 1984. *JAMA* 1991 Mar 20;265(11):1397-402.

3B. Studi relativi a personale tecnico di supporto alla lavorazione dell'Uranio o alla manutenzione delle centrali atomiche, o ancora a personale dell'esercito impiegato in sommergibili atomici o nella sperimentazione di armi atomiche, non considerati nel presente report.

- 144 Beral V, Inskip H, Fraser M, Booth M, Coleman D, Rose G. Mortality of employees of the United Kingdom Atomic Energy Authority, 1946-1979. *BMJ* 1985;291:440-447.
- 145 Bross ID, Bross NS. Do atomic veterans have excess cancer? New results correcting for the healthy soldier bias. *Am J Epidemiol* 1987;126:1042-50.
- 146 Caldwell GG, Kelley D, Zack M, et al. Mortality and cancer frequency among military nuclear test (Smoky) participants, 1957-1979. *JAMA* 1983;250:620-24.
- 147 Carnes BA, Groer PG, Kotek TJ. Radium dial workers: issues concerning dose response and modeling. *Radiat Res* 1997;147:707-14.
- 148 Carpenter L, Higgins C, Douglas A, et al. Leukemia mortality in three UK

- nuclear industry work-forces: comparison with the BEIR V model. *J Radiol Prot* 1995;15:191-95.
- 149 Charpentier P, Ostfeld AM, Hadjimichael OC, et al. The mortality of US nuclear submariners, 1969-1982. *J Occupat Med* 1993;35:501-09.
  - 150 Checkoway H, Mathew RM, Shy CM, et al. Radiation, work experience, and cause specific mortality among workers at an energy research laboratory. *Br J Ind Med* 1985;42:525-533.
  - 151 Checkoway H, Pearce N, Crawford-Brown, Cragle DL. Radiation doses and cause-specific mortality among workers at a nuclear materials fabrication plant. *Am J Epidemiol* 1988;127:255-66.
  - 152 Cook-Mozaffari PJ, Darby SC, Doll R, et al. Geographical variation in mortality from leukaemia and other cancers in England and Wales in relation to proximity to nuclear installations, 1969-78. *Br J Cancer* 1989;59:476-85
  - 153 Cook-Mozaffari PJ, Darby SC, Doll R. Cancer near potential sites of nuclear installations. *Lancet* 1989;2:1145-47.
  - 154 Cragle DL, McLain RW, Qualters JR, et al. Mortality among workers at a nuclear fuels production facility. *Am J Ind Med* 1988;14:379-401.
  - 155 Darby SC, Kendall GM, Fell TP, et al. A summary of mortality and incidence of cancer in men from the United Kingdom who participated in the United Kingdom's atmospheric nuclear weapon tests and experimental programmes. *BMJ* 1988;296:332-38.
  - 156 Darby SC, Kendall GM, Fell TP, et al. Further follow up of mortality and incidence of cancer in men from the United Kingdom who participated in the United Kingdom's atmospheric nuclear weapon tests and experimental programmes. *BMJ* 1993;307:1530-35.
  - 157 Douglas AJ, Omar RZ, Smith PG. Cancer mortality and morbidity among workers at the Sellafield plant of British nuclear. *Br J Cancer* 1994; 70: 1232-43.
  - 158 Dousset M. Cancer mortality among La Hague nuclear facilities. *Health Phys* 1989;56:875-84.
  - 159 Dupree EA, Cragle DL, McLain RW, Crawford-Brown DJ, Teta MJ. Mortality among workers at a uranium processing facility, the Linde Air Products Company Ceramic Plant, 1943-1949. *Scand J Work Environ Health* 1987;13:100-7.
  - 160 Fraser P, Carpenter L, Maconochie N, Higgins C, Booth M, Beral V. Cancer mortality and morbidity in employees of the United Kingdom Atomic Energy Authority, 1946-86. *Br J Cancer* 1993;67:615-24.
  - 161 Frome EL, Cragle DL, Watkins JP, et al. A mortality study of employees of the nuclear industry in Oak Ridge, Tennessee. *Radiat Res* 1997;148:64-80.
  - 162 Gardner MJ, Hall AJ, Downes S, Terrel JD. Follow up study of children born elsewhere but attending schools in Seascale, West Cumbria (schools cohort). *BMJ* 1987;295:819-822.



- 163 Gardner MJ, Hall AJ, Downes S, Terrel JD. Follow up study of children born to mothers resident in Seascale, West Cumbria (birth cohort). *BMJ* 1987;295:822-27.
- 164 Gardner MJ, Hall AJ, Snee MP, Downes S, Powell CA, Terrel JD. Methods and basic data of case-control study of leukemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *BMJ* 1990;300:429-34.
- 165 Gardner MJ, Snee MP, Hall AJ, Powell CA, Downes S, Terrel JD. Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *BMJ* 1990;300:423-29.
- 166 Gilbert ES, Omohundro E, Buchanan JA, Holter NA. Mortality of workers at the Hanford site: 1945-1986. *Health Phys* 1993;64:577-90.
- 167 Gilbert ES, Petersen GR, Buchanan JA. Mortality of workers at the Hanford site: 1945-1981. *Health Phys* 1989;56:11-25.
- 168 Gilbert ES. Leukemia among nuclear workers with protracted exposure to low-dose ionizing radiation. *Epidemiology* 1992 May;3(3):275-6.
- 169 Hadjimichael OC, Ostfeld AM, D'Atri DA, Brubaker RE. Mortality and cancer incidence experience of employees in a nuclear fuels fabrication plant. *J Occup Med* 1983;25:48-61.
- 170 Hohryakov VF, Romanov SA. Lung cancer in radiochemical industry workers. *Sci Total Environ* 1994;142:25-8.
- 171 Hosoda Y, and Epidemiological Study Group of Nuclear workers (Japan). First analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan, 1986-1992. *Health Phys* 1997;32:173-184.
- 172 Howe GR, Weeks JL, Miller AB, Chiarelli AM, Etezadi-Amoli J. A study of the health of the employees of atomic energy of Canada Limited. IV. Analysis of mortality during the Period 1950-81.
- 173 Hutchinson GB, MacMahon B, Jablon S, et al. Review of report by Mancuso, Stewart and Kneale of radiation exposure of Hanford workers. *Health Phys* 1979;37:207-20.
- 174 Inskip PD, Tekkel M, Rahu M, et al. Studies of leukemia and thyroid disease among Chernobyl clean-up workers from the Baltics. *NCRP Proc* 1997;18:123-41.
- 175 Jablon S, Hrubec Z, Boice JD. Cancer in population living near nuclear facilities. A survey of mortality nationwide and incidence in two states. *JAMA* 1991;265:1403-08.
- 176 Johnson JC, Thaul S, Page WF, et al. Mortality of veteran participants in the CROSSROADS nuclear test. *Health Phys* 1997;73:187-89.
- 177 Kerber RA, Till JE, Simon SL, et al. A cohort study of thyroid disease in relation to fallout from nuclear weapons testing. *JAMA* 1993;270:2076-82.
- 178 Koshurnikova NA, Buldakov LA, Bysogolov GD, et al. Mortality from malignancies of the hematopoietic and lymphatic tissues among personnel of the first nuclear plant in the USSR. *Sci Tot Environ* 1994;142:19-23.

- 179 Koshurnikova NA, Bysogolov GD, Bolotnikova MG, et al. Mortality among personnel who worked at the Mayak complex in the years of its operation. *Health Phys* 1996;71:90-93.
- 180 Little MP, Kendall GM, Muirhead CR, et al. Further analysis, incorporating assessment of the robustness of risk of cancer mortality in the National Registry for Radiation Workers. *J Radiol Prot* 1993;13:95-108.
- 181 Mancuso TF, Stewart A, Kneale G. Radiation exposures of Hanford workers dying from cancer and other causes. *Health Phys* 1977;33:369-385.
- 182 Matanoski GM. Nuclear shipyard workers study. *Radiat Res* 1993; 113: 126-27.
- 183 McKinney PA, Alexander FE, Cartwright RA, Parker L. Parental occupations of children with leukaemia in West Cumbria, North Humberside, and Gateshead. *BMJ* 1991;302:681-87.
- 184 McLaughlin JR, Clarke EA, Nishri D, Anderson TW. Childhood leukaemia in the vicinity of Canadian nuclear facilities. *Cancer Causes Control* 1993; 4: 51-58.
- 185 Michaelis J, Keller B, Haaf G, et al. Incidence of childhood malignancies in the vicinity of West German nuclear power plants. *Cancer Causes Control* 1992; 3:255-63.
- 186 Pearce N, Winkelmann R, Kennedy J, et al. Further follow-up of New Zealand participants in United Kingdom atmospheric nuclear weapons tests in the Pacific. *Cancer Causes Control* 1997;8:139-45.
- 187 Polednak AP, Frome EL. Mortality among men employed between 1943 and 1947 at a Uranium-processing plant. *J Occup Med* 1981;23:169-178.
- 188 Rinsky RA, Melius JM, Hornung RW, et al. Case-control study of lung cancer in civilian employees at the Portsmouth Naval Shipyard, Kittery, Maine. *Am J Epidemiol* 1988;127:55-64.
- 189 Roman E, Beral V, Carpenter L, et al. Childhood leukemia in the West Berkshire and Basingstoke and North Hampshire District Health Authorities in relation to nuclear establishments in the vicinity. *BMJ* 1987;294:597-602.
- 190 Smith PG, Douglas AJ. Mortality of workers at the Sellafield plant of British Nuclear Fuels. *BMJ* 1986;293:845-54.
- 191 Stern FB, Waxweiler RA, Beaumont JJ, et al. A case-control study of leukemia at a naval nuclear shipyard. *Am J epidemiol* 1986;123:980-92.
- 192 Stevens W, Thomas DC, Lyon JL, et al. Leukemia in Utah and radioactive fallout from the Nevada test site. *JAMA* 1990;264:485-591.
- 193 Tokarskaya ZB, Okladnikova ND, Belyaeva ZD, Drozhko EG. Multifactorial analysis of lung cancer dose-response relationships for workers at the Mayak Nuclear Enterprise. *Health Phys* 1997;73:899-905.
- 194 Urquhart JD, Black RJ, Muirhead MJ, et al. Case-control study of leukaemia and Non-Hodgkin's lymphoma in children in Caithness near the Dounreay nuclear installation. *BMJ* 1991;302:687-92.



- 195 Viel JF, Richardson ST. Childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant. *BMJ* 1990;300:580-81.
- 196 Voelz GL, Lawrence JNP. A 42-year medical follow-up of Manhattan Project plutonium workers. *Health Phys* 1991;61:181-90.
- 197 Voelz GL. Health considerations for workers exposed to plutonium. *Occup Med* 1991;6:681-94.
- 198 Watanabe KK, Kang HK, Dalager NA. Cancer mortality risk among military participants of a 1958 atmospheric nuclear weapons test. *Am J Public Health* 1995;85:523-27.
- 199 Wiggs LD, Cox-DeVore CA, Voelz GL. Mortality among a cohort of workers monitored for 210 Po exposure: 1944-1972. *Health Phys* 1991;61:71-76.
- 200 Wilkinson GS, Dreyer NA. Leukemia among nuclear workers with protracted exposure to low-dose ionizing radiation. *Epidemiology* 1991;2:305-309.
- 201 Wilkinson GS, Tietjen GL, Wiggs LD, et al. Mortality among plutonium and other radiation workers at a plutonium weapons facility. *Am J Epidemiol* 1987; 125:231-50.
- 202 Wilkinson GS. Epidemiologic studies of nuclear and radiation workers: an overview of what is known about health risks posed by the nuclear industry. *Occupational Medicine* 1991;6:715-724.

4A. Studi relativi a minatori in aree in cui vi sono elevate concentrazioni di Radon, Radium, o altri elementi radioattivi, considerati nel presente report.

- 203 Darby SC, Whitley E, Howe GR, et al. Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies. *J Natl Cancer Inst* 1996;87:378-84.
- 204 Hornung RW, Meinhardt TJ. Quantitative risk assessment of lung cancer in U.S. uranium miners. *Health Phys* 1987;52:417-30.
- 205 Howe GR, Stager RH. Risk of lung cancer mortality after exposure to radon decay products in the Beaverlodge cohort based on revised exposure estimates. *Radiat Res* 1996;14:37-42.
- 206 Lubin JH, Tomasek L, Edling C, et al. Estimating lung cancer mortality from residential radon using data for low exposures of miners. *Radiat Res* 1997 Feb;147(2):126-34.
- 207 Tomasek L, Darby S, Fearn T, Swerdlow AJ, Placek V, Kunz E. Patterns of lung cancer mortality among uranium miners in West Bohemia with varying rates of exposure to radon and its progeny. *Radiat Res* 1994;137:251-61.
- 208 Xuan XZ, Lubin JH, Li Y, et al. A cohort study in southern China of workers exposed to radon and radon decay products. *Health Phys* 1993;64:120-31.

- 209 Yao SX, Lubin JH, Qiao YL, et al. Exposure to Radon Progeny, tobacco use and lung cancer in a case-control study in Southern China. *Radiat Res* 1994;138:326-36.

4B. Studi relativi a minatori in aree in cui vi sono elevate concentrazioni di Radon, Radium, o altri elementi radioattivi, non considerati nel presente report.

- 210 Hornung RW, Deddens J, Roscoe R. Modifiers of exposure-response estimates for lung cancer among miners exposed to radon progeny. *Environ Health Perspect* 1995;103(Suppl 2):49-53.
- 211 Howe GR, Nair RC, Newcombe HB, Miller AB, Abbatt JD. Lung cancer mortality (1950-80) in relation to radon daughter exposure in a cohort of workers at the Eldorado Beaverlodge Uranium Mine. *J Natl Cancer Inst* 1986;77:357-62.
- 212 Howe GR, Nair RC, Newcombe HB, Miller AB, Burch JD, Abbatt JD. Lung cancer mortality (1950-80) in relation to radon daughter exposure in a cohort of workers at the Eldorado Port Radium Uranium Mine: possible modification of risk by exposure rate. *J Natl Cancer Inst* 1987;79:1255-60.
- 213 Kusiak RA, Ritchie AC, Muller J, Springer J. Mortality for lung cancer in Ontario uranium miners. *Br J Ind Med* 1993;50:920-8.
- 214 Lubin JH, Boice JD, Edling C, et al. Lung cancer in radon-exposed miners and the estimation of risk from indoor exposure. *J Natl Cancer Inst* 1995;87:817-27.
- 215 Morrison HI, Semenciw RM, Mao Y, Wigle DT. Cancer mortality among a group of fluorspar miners exposed to radon progeny. *Am J Epidemiol* 1988;128:1266-75.
- 216 Radford EP, Clair Renard KG. Lung cancer in Swedish iron miners exposed to low doses of radon daughters. *N Engl J Med* 1984;310:1485-94.
- 217 Roscoe RJ, Steenland K, Halperin WE, Beaumont JJ, Wax-Weiler RJ. Lung cancer mortality among nonsmoking uranium miners exposed to radon daughters. *JAMA* 1989;262:629-33.
- 218 Samet JM, Pathak DR, Morgan MV, Key CR, Valdivia AA, Lubin JH. Lung cancer mortality and exposure to Rn progeny in a cohort of New Mexico underground U miners. *Health Phys* 1991;61:745-52.
- 219 Samet JM, Pathak DR, Morgan MV, Marbury M, Key C, Valdivia AA. Radon progeny and lung cancer risk in New Mexico U miner: a case control study. *Health Phys* 1989;56:415-21.
- 220 Sevc J, Kunz E, Tomasek L, Placek V, Horacek J. Cancer in man after exposure to Rn daughters. *Health Phys* 1988;54:27-46.
- 221 Tirmarche M, Raphalen A, Allin F, Chameaud J, Bredon P. Mortality of a cohort of French uranium miners exposed to relatively low radon concentrations. *Br J Cancer* 1993;67:1090-7.

222 Woodward A, Roder D, McMichael AJ, Crouch P, Mylvaganam A. Radon daughter exposures at the Radium Hill Uranium Mine and lung cancer rates among former workers, 1952-87. *Cancer Causes Control* 1991;2:213-20.

5A. Studi relativi a pazienti trattati con radiazioni per la cura di patologie o per scopi diagnostici, considerati nel presente report.

223 Bhatia S, Robinson LL, Oberlin O, et al. Breast cancer and other second neoplasms after childhood Hodgkin's disease. *N Engl J Med* 1996; 334: 745-51.

224 Damber L, Johansson L, Johansson R, Larsson LG. Thyroid cancer after X-rays treatment of benign disorders of the cervical spine in adults. *Acta Oncol* 2002;4(1):25-8.

225 Hall P, Mattsson A, Boice JD. Thyroid cancer after diagnostic administration of iodine-131. *Radiat Res* 1996;145:86-92.

226 Hancock SL, Tucker MA, Hoppe RT. Breast cancer after treatment of Hodgkin's disease. *J Natl Cancer Inst* 1993;85:25-31.

227 Howe GR, McLaughlin J. Breast cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate-dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with breast cancer mortality in the atomic bomb survivors study. *Radiat Res* 1996 Jun;145(6):694-707.

228 Howe GR. Lung cancer mortality between 1950 and 1987 after exposure to fractionated moderate-dose-rate ionizing radiation in the Canadian fluoroscopy cohort study and a comparison with lung cancer mortality in the Atomic Bomb survivors study. *Radiat Res* 1995 Jun;142(3):295-304.

229 Lundell M, Hakulinen T, Holm LE. Thyroid cancer after radiotherapy for skin hemangioma in infancy. *Radiat Res* 1994;334-9.

230 Lundell M, Holm LE. Mortality from leukemia after irradiation in infancy for skin hemangioma. *Radiat Res* 1996 May;145(5):595-601.

231 Lundell M, Mattsson A, Hakulinen T, Holm LE. Breast cancer after radiotherapy for skin hemangioma in infancy. *Radiat Res* 1996;145:225-30.

232 Mattsson A, Hall P, Ruden BI, Rutqvist LE. Incidence of primary malignancies other than breast cancer among women treated with radiation therapy for benign breast cancer. *Radiat Res* 1997 Aug;148(2):152-60.

233 McTiernan AM, Weiss NS, Daling JR. Incidence of thyroid cancer in women in relation to previous exposure to radiation therapy and history of thyroid disease. *J Natl Cancer Inst* 1984;73:575-81.

234 Rasmuson T, Damber L, Johansson L, Johansson R, Larsson LG. Increased incidence of parathyroid adenomas following X-ray treatment of benign disease in the cervical spine in adult patients. *Clin Endocrinol* 2002 Dec;57(6):731-4.

- 235 Schneider AB, Gierlowski TC, Shore-Freedman E, Stovall M, Ron E, Lubin J. Dose-response relationships for radiation-induced hyperparathyroidism. *J Clin Endocrinol Metabol* 1995;80:254-57.
- 236 Zheng T, Holford TR, Mayne ST, et al. Radiation exposure from diagnostic and therapeutic treatments and risk of breast cancer. *Eur J Cancer Prev* 2002 Jun;11(3):229-35.

5B. Studi relativi a pazienti trattati con radiazioni per la cura di patologie o per scopi diagnostici, non considerati nel presente report.

- 237 Boice JD, Day NE, Andersen A, et al. Second cancers following radiation treatment for cervical cancer. An international collaboration among cancer registries. *J Natl Cancer Inst* 1985;74:955-75.
- 238 Boice JD, Engholm G, Kleinerman RA, et al. Radiation dose and second cancer risk in patients treated for cancer of the cervix. *Radiat Res* 1988;116:3-55.
- 239 Boice JD, Preston D, Davis FG, Monson RR. Frequent chest x-ray fluoroscopy and breast cancer incidence among tuberculosis patients in Massachusetts. *Radiat Res* 1991;125:214-22.
- 240 Court Brown WM, Doll R, Hill BA. Incidence of leukaemia after exposure to diagnostic radiation in utero. *BMJ* 1960;5212:1539-1545.
- 241 Damber L, Larsson LG, Johansson L, Norin T. A cohort study with regard to the risk of haematological malignancies in patients treated with X-rays for benign lesions in the locomotor system. *Acta Oncol* 1995;34:713-19.
- 242 Davis HG, Boice JD, Hrubec Z, Monson RR. Cancer mortality in a radiation-exposed cohort of Massachusetts tuberculosis patients. *Cancer Res* 1989;49:6130-36.
- 243 Hall P, Holm LE, Bjelkengren LG, et al. Cancer risk in thyroid cancer patients. *Br J Cancer* 1991;64:159-63.
- 244 Hancock SL, Tucker MA, Hoppe RT. Breast cancer after treatment of Hodgkin's disease. *J Natl Cancer Inst* 1993;85:25-31.
- 245 Hempelmann LH. Neoplasms in youthful populations following X-ray Treatment in infancy. *Environ Res* 1967;1:338-58.
- 246 Hildreth NG, Shore RE, Hempelmann LH, Rosenstein M. Risk of extra thyroid tumors following radiation treatment in infancy for thymic enlargement. *Radiat Res* 1985;102:378-91.
- 247 Hoffman DA, Lonstein JE, Morin MM, Visscher W, Harris BS 3rd, Boice JD Jr. Breast cancer in women with scoliosis exposed to multiple diagnostic x rays. *J Natl Cancer Inst* 1989 Sep 6;81(17):1307-12.
- 248 Hoffman DA, McConahey WM, Fraumeni JF, Kurland LT. Cancer incidence following treatment of hyperthyroidism. *Int J Epidemiol* 1982;11:218-24.

- 249 Holm LE, Hall P, Wiklund KE, et al. Cancer risk after iodine-131 therapy for hyperthyroidism. *J Natl Cancer Inst* 1991;83:1072-77.
- 250 Holm LE, Wiklund KE, Lundell GE, et al. Thyroid cancer after diagnostic doses of iodine-131: A retrospective cohort study. *J Natl Cancer Inst* 1988;80:1132-38.
- 251 MacMahon B. Prenatal X-ray exposure and childhood cancer. *J Natl Cancer Inst* 1962;28:1173-91.
- 252 Miller AB, Howe GR, Sherman GJ, et al. Mortality from breast cancer after irradiation during fluoroscopic examinations in patients being treated for tuberculosis. *N Engl J Med* 1989 Nov 9;321(19):1285-9.
- 253 Modan B, Alfandary E, Chetrit A, Katz L. Increased risk of breast cancer after low-dose irradiation. *Lancet* 1989;1:629-31.
- 254 Modan B, Baidatz D, Mart H, Steinitz R, Levin SG. Radiation-induced head and neck tumors. *Lancet* 1974;1:277-79.
- 255 Mole RH. Childhood cancer after prenatal exposure to diagnostic X-ray examinations in Britain. *Br J Cancer* 1990;622:152-68.
- 256 Preston-Martin S, Thomas DC, White SC, Cohen D. Prior exposure to medical and dental X-rays related to tumors of the parotid gland. *J Natl Cancer Inst* 1988;80:943-49.
- 257 Rodvall Y, Pershagen G, Hrubec Z, Ahlbom A, Pedersen N, Boice JD. Prenatal x-ray exposure and childhood cancer in Swedish twins. *Int J Cancer* 1990;46:362-5.
- 258 Ron E, Modan B, Boice JD. Mortality after radiotherapy for ringworm of the scalp. *Am J Epidemiol* 1988;127:13-25.
- 259 Shore RE, Albert RE, Pasternack BS. Follow-up study of patients treated by x-ray epilation for tinea capitis. Resurvey of post-treatment illness and mortality experience. *Arch Environ Health* 1976;31:17-24.
- 260 Teppo L, Pukkala E, Saxen E. Multiple cancer - an epidemiological exercise in Finland. *J Natl Cancer Inst* 1988;80:943-49.
- 261 Tucker MA, Morris Jones PH, Boice JD, et al. Therapeutic radiation at young age is linked to secondary thyroid cancer. *Cancer Res* 1991;51:2885-88.

6A. Studi relativi a sopravvissuti alle bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki, e studi relativi a soggetti esposti in seguito all'incidente di Chernobyl (residenti e lavoratori di supporto per il contenimento dei danni e per le operazioni di pulizia), considerati nel presente report.

- 262 Brown RA. Public Health effects of occupational and environmental radiation exposure. *JAMA* 1991;266:652-53.
- 263 Inskip PD, Hartshorne MF, Tekkel M, et al. Thyroid nodularity and cancer among Chernobyl cleanup workers from Estonia. *Radiat Res* 1997 Feb;147(2):225-35.

- 264 Ivanov VK, Tsyb AF, Gorsky AI, et al. Leukaemia and thyroid cancer in emergency workers of the Chernobyl accident: estimation of radiation risks (1986-1995). *Radiat and Environ Biophys* 1997;36:9-16.
- 265 Ivanov VK, Tsyb AF, Gorsky AI, et al. Thyroid cancer among “liquidators” of the Chernobyl accident. *Br J Radiol* 1997;70:937-41.
- 266 Ivanov VK, Tsyb AF, Nilova EV, et al. Cancer risks in the Kaluga oblast of the Russian Federation 10 years after the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys* 1997;36:161-7.
- 267 Jacob P, Kenigsberg Y, Goulko G, et al. Thyroid cancer risk in Belarus after the Chernobyl accident: comparison with external exposures. *Radiat Environ Biophys* 2000;39:25-31.
- 268 Land CE, Saku T, Hayashi Y, et al. Incidence of salivary gland tumors among atomic bomb survivors, 1950-1987. Evaluation of radiation-related risk. *Radiat Res* 1996 Jul;146(1):28-36.
- 269 Land CE. Studies of cancer and radiation dose among atomic bomb survivors: the example of breast cancer. *JAMA* 1995 Aug 2 ;274(5):402-7.
- 270 Mettler FA, Williamson MR, Royal HD, et al. Thyroid nodularity in the population living around Chernobyl. *JAMA* 1992;268:616-9.
- 271 Moysich KB, Menezes RJ, Michalek AM. Chernobyl related ionising radiation exposure and cancer risk: an epidemiological review. *Lancet Oncol* 2002 May;3(5):269-79.
- 272 Pierce DA, Shimuzu Y, Preston DL, Vaeth M, Mabuchi K. Studies on the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer: 1950-1990. *Radiat Res* 1996;146:1-27.
- 273 Preston DL, Kusumi S, Tomonaga S. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat Res* 1994;137(Suppl):S68-97.
- 274 Rahu M, Tekkel M, Veidebaum T, et al. The Estonian study of Chernobyl cleanup workers: II. Incidence of cancer and mortality. *Radiat Res* 1997;147:653-57.
- 275 Romanenko A, Morimura K, Wanibuchi H, et al. Urinary bladder lesions induced by persistent chronic low-dose ionizing radiation. *Cancer Sci* 2003;94:328-33.
- 276 Schull WJ. Radioepidemiology of the A-bomb survivors. *Health Phys* 1996 Jun;70(6):798-803.
- 277 Shimizu Y, Kato H, Schull WJ, Preston DL, Fujita S, Pierce DA. Studies of the mortality of A-bomb survivors. 9. Mortality, 1950-1985: Part 1. Comparison of risk coefficients for site-specific cancer mortality based on the DS86 and T65DR shielded kerma and organ doses. *Radiat Res* 1989 Jun;118(3):502-24.
- 278 Thompson DE, Mabuchi K, Ron E, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1958-87. *Radiat Res* 1994;137:S17-67.
- 279 Tokunaga M, Land CE, Tokuoka S, Nishimori I, Soda M, Akiba S.



- Incidence of female breast cancer among atomic bomb survivors, 1950-1985. *Radiation Research* 1994;138:209-223.
- 280 Yoshimoto Y, Kato H, Schull WJ. Risk of cancer among children exposed in utero to A-bomb radiation: 1950-84. *Lancet* 1988;2:665-9.
- 6B. Studi relativi a sopravvissuti alle bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki, e studi relativi a soggetti esposti in seguito all'incidente di Chernobyl (residenti e lavoratori di supporto per il contenimento dei danni e per le operazioni di pulizia), non considerati nel presente report.
- 281 Hatch MC, Beyea J, Nieves JW, et al. Cancer near the Three Mile Island nuclear plant: radiation emissions. *Am J Epidemiol* 1990;132:397-412.
- 282 Ivanov VK, Gorsky AI, Tsyb AF, et al. Dynamics of thyroid cancer incidence in Russia following the Chernobyl accident. *J Radiol Prot* 1999;19:305-18.
- 283 Ivanov VK, Rastopchin EM, Gorsky AI, Ryvkin VB. Cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: solid tumors, 1986-1995. *Health Phys* 1998;74:309-315.
- 284 Ivanov VK, Tsyb AF, Konogorov AP, Rastopchin EM, Khait SE. Case-control analysis of leukaemia among Chernobyl accident emergency workers residing in the Russian Federation, 1986-1993. *J Radiol Prot* 1997;17:137-57.
- 285 Kato H, Yoshimoto Y, Schull WJ. Risk of cancer among children exposed to atomic bomb radiation in utero: a review. In *Perinatal and multigeneration carcinogenesis*. International Agency for Research on Cancer, Lyon, 1989.
- 286 Kazakov VS, Demidchik EP, Astakova LN. Thyroid cancer after Chernobyl. *Nature* 1992;359:21.
- 287 Konogorov AP, Ivanov VK, Chekin SY, Khait SE. A case-control analysis of leukemia in accident emergency workers of Chernobyl. *J Environ Pathol Toxicol Oncol* 2000;19:143-51.
- 288 Koshurnikova NA, Shilnikova NS, Okatenco PV, et al. The risk of cancer among nuclear workers at the "Mayak" Production association: preliminary results of an epidemiological study. *NCRP Proc* 1997;18:113-22.
- 289 Kostyuchenko VA, Krestina LY. Long-term irradiation effects in the population evacuated from the east-Urals radioactive trace area. *Sci Total Environ* 1994;142:119-25.
- 290 Land CE, Hayakawa N, Machado SG, et al. A case-control interview study of breast cancer among Japanese A-bomb survivors. I. Main effects. *Cancer Causes Control* 1994 Mar;5(2):157-65.
- 291 Pottern LM, Kaplan MM, Larsen PR, et al. Thyroid nodularity after irradiation for lymphoid hyperplasia: a comparison of questionnaire and clinical findings. *J Clin Epidemiol* 1990;43:449-60.

- 292 Prisyazhniuk A, Gristchenko V, Zakordonets V, et al. The time trends of cancer incidence in the most contaminated regions of the Ukraine before and after the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys* 1995;34:3-6.
- 293 Ron E, Preston DL, Mabuchi K, Thompson DE, Soda M. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part IV: Comparison of cancer incidence and mortality. *Radiat Res* 1994;137:S98-S112.
- 294 Saku T, Hayashi Y, Takahara O, Matsuura H, Tokunaga M, Tokuoka S, Soda M, Mabuchi K, Land CE. Salivary gland tumors among atomic bomb survivors, 1950-1987. *Cancer* 1996;79:1465-75.
- 295 Shimizu Y, Kato H, Schull WJ. Studies of the mortality of A-bomb survivors 9. Mortality, 1950-1985: Part 2. Cancer mortality based on the recently revised doses (DS86). *Radiat Res* 1990;121:120-41.
- 296 Tokunaga M, Land CE, Yamamoto T, et al. Incidence of female breast cancer among atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki, 1950-1980. *Radiat Res* 1987;112:243-72.
- 297 Tokuoka S, Kawai K, Shimizu Y, et al. Malignant and benign ovarian neoplasms among atomic bomb survivors, Hiroshima and Nagasaki, 1950-1980. *J Natl Cancer Inst* 1987;79:47-57.
- 298 Yamamoto T, Kopecky KJ, Fujikura T, et al. Lung cancer incidence among A-bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki, 1950-80. *J Radiat Res* 1987;28:156-71.

7A. Studi relativi a lavoratori esposti a basse dosi di RI senza distinzione di categoria professionale, considerati nel presente report.

- 299 Ashmore JP, Krewski D, Zielinski JM, Jiang H, Semenciw R, Band RR. First analysis of mortality and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. *Am J Epidemiol* 1998;148:564-74.
- 300 Fincham SM, Ugnat AM, Hill GB, Kreiger N, Mao Y. Is occupation a risk factor for thyroid cancer? Canadian Cancer Registries Epidemiology Research Group. *J Occup Environ Med*. 2000 Mar;42(3):318-22.
- 301 Marcus PM, Newman B, Millikan RC, Moorman PG, Day Baird D, Qaqish B. The association of adolescent cigarette smoking, alcoholic beverage consumption, environmental tobacco smoke, and ionizing radiation with subsequent breast cancer risk (United States). *Cancer Causes Control* 2000;11:271-78.
- 302 Muirhead CR, Goodill AA, Haylock RGE, et al. Occupational radiation exposure and mortality: second analysis of the National Registry for Radiation Workers. *J Radiol Prot* 1999 Mar;19(1):3-26.
- 303 Negri E, Ron E, Franceschi S, et al. A pooled analysis of case-control studies of thyroid cancer. *Cancer Causes Control* 1999;10:131-42.
- 304 Ron E, Lubin JH, Shore RE, et al. Thyroid cancer after exposure to exter-



nal radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat Res* 1995;141:259-77.

- 305 Sont WN, Zielinski JM, Ashmore JP, et al. First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. *Am J Epidemiol* 2001;153(4):309-18.

7B. Studi relativi a lavoratori esposti a basse dosi di RI senza distinzione di categoria professionale, non considerati nel presente report.

- 306 Gibson R, Graham S, Lilienfeld AM, Schuman L, Dowd JE, Levin ML. Irradiation in the epidemiology of leukemia among adults. *J Natl Cancer Inst* 1972;48:301-11.
- 307 Harvey E, Boice JD, Honeyman M, Flannery J. Prenatal x-ray exposure and childhood cancer in twins. *N Engl J Med* 1985;312:541-5.
- 308 Inskip PD, Harvey EB, Boice JD, et al. Incidence of childhood cancer in twins. *Cancer Causes Control* 1991;2:315-24.
- 309 Land CE, Boice JD Jr, Shore RE, Norman JE, Tokunaga M. Breast cancer risk from low-dose exposures to ionizing radiation: results of parallel analysis of three exposed populations of women. *J Natl Cancer Inst* 1980 Aug;65(2):353-76.
- 310 Mattsson A, Rudèn BI, Hall N, Wilking N, Rutqvist LE. Radiation-induced breast cancer: long-term follow-up of radiation therapy for benign breast disease. *J Natl Cancer Inst* 1993;85:1679-85.
- 311 McLaughlin JR, Krieger N, Sloan MP, Benson LN, Hilditch S, Clarke EA. A historical cohort study of cardiac catheterization during childhood and the risk of cancer. *Int J Epidemiol* 1993;22:584-91.
- 312 Oppenheim BE, Griem ML, Meirer P. The effects of low-dose prenatal irradiation in humans: analysis of Chicago lying-in data and comparison with other studies. *Radiat Res* 1974;57:508-44.
- 313 Preston-Martin S, Bernstein L, Pike MC, Maldonado AA, Henderson BE. Thyroid cancer among young women related to prior thyroid disease and pregnancy history. *Br J Cancer* 1987;55(2):191-95.
- 314 Preston-Martin S, Jin F, Duda MJ, Mack WJ. A case-control study of thyroid cancer in women under age 55 in Shanghai (People's Republic of China). *Cancer Causes Control* 1993;4:431-40.
- 315 Ron E, Kleinerman RA, Boice JD, LiVolsi VA, Flannery JT, Fraumeni JF. A population-based case-control study of thyroid cancer. *J Natl Cancer Inst* 1987;79:1-12.
- 316 Schneider AB, Ron E, Lubin J, Stovall M, Gierlowski TC. Dose-response relationships for radiation induced thyroid cancer and thyroid nodules: evidence for the prolonged effects of radiation on the thyroid. *J Clin Endocrinol Metab* 1993;77:362-69.

8. Studi relativi a individui residenti in abitazioni ad alto contenuto di Radon od in prossimità di impianti nucleari (non considerati nel presente report).

- 317 Cohen BL. Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. *Health Phys* 1995;68:157-74.
- 318 Hattchouel JM, Laplanche A, Hill C. Cancer mortality around French nuclear sites. *Ann Epidemiol* 1996;6:126-29.
- 319 Hill C, Laplanche A. Overall mortality and cancer mortality around French nuclear sites. *Nature* 1990;347:755-57.
- 320 Luan Y. The effects of low and very low doses of radiation on human health. *Trans Am Nucl Soc* 1999;18.
- 321 Lubin JH, Boice JD. Lung cancer risk from residential radon: meta-analysis of eight epidemiologic studies. *J Natl Cancer Inst* 1997;89:49-57.
- 322 Neuberger JS, Gesell TF. Residential radon exposure and lung cancer: risk in nonsmokers. *Health Phys* 2002 Jul;83(1):1-18.
- 323 Sharp L, McKinney PA, Black RJ. Incidence of childhood brain and other non-haematopoietic neoplasms near nuclear sites in Scotland, 1975-94. *Occup Environ Med* 1999;56:308-14.
- 324 Silva-Mato A, Viana D, Fernandez-SanMartin MI, Cobos J, Viana M. Cancer risk around the nuclear power plants of Trillo and Zorita (Spain). *Occup Environ Med* 2003;60:521-27.
- 325 Upton AC. Health impact of the three mile Island accident. *Ann NY Acad Sci* 1981;365:63-75.

9. Studi relativi agli effetti genetici delle RI a basse dosi (non considerati nel presente report)

- 326 Adelstein SJ. Biologic responses to low doses of ionizing radiation: adaptive responses versus bystander effect. *J Nuclear Med* 2003;44(1):125.
- 327 Bonassi S, Hagmar L, Stromberg U, et al. Chromosomal aberrations in lymphocytes predict human cancer independently of exposure to carcinogens. *Cancer Res* 2000;60:1619-25.
- 328 Cronkite EP. Is natural background radiation from nuclear power plants leukemogenic? *The biology of Hematopoiesis*. Wiley-Liss, Inc., 1990:439-448.
- 329 Dainiak N. Hematologic consequences of exposure to ionizing radiation. *Exp Hematol* 2002 Jun;30(6):513-28.
- 330 Hagmar L, Bonassi S, Stromberg U, et al. Chromosomal aberrations in lymphocytes predict human cancer: a report from the European Study Group on Cytogenetic Biomarkers and Health (ESCH). *Cancer Res* 1998;58(18):4117-21.

- 331 Hagmar L, Brogger A, Hansteen IL, et al. Cancer risk in humans predicted by increased levels of chromosomal aberrations in lymphocytes: Nordic study group on the health risk of chromosome damage. *Cancer Res* 1994;54:2919-22.
- 332 Hayashi T, Kusunoki Y, Hakoda M, Morishita Y, Kubo Y, Maki M, Kasagi F, Kodama K, Macphee DG, Kyoizumi S. Radiation dose-dependent increases in inflammatory response markers in A-bomb survivors. *Int J Radiat Biol* 2003 Feb;79(2):129-36.
- 333 Jones IM, Galick H, Kato P, et al. Three somatic genetic biomarkers and covariates in radiation-exposed Russian cleanup workers of the chernobyl nuclear reactor 6-13 years after exposure. *Radiat Res* 2002 Oct;158(4):424-42.
- 334 Link EM, Flanagan K, Michalowski AS, Blower PJ. Low-doses of ionising radiation induce melanoma metastases and trigger the immune system-adrenal axis feedback loop. *Eur J Cancer* 1999 Oct;35(10):1526-33.
- 335 Little JB. Low-dose radiation effects: interactions and synergism. *Health Phys* 1990 Jul;59(1):49-55.
- 336 Maluf SW, Ferreira Passos D, Bacelar A, Speit G, Erdtmann B. Assesment of DNA damage in lymphocytes of workers exposed to X-radiation using the micronucleus test and the comet assay. *Environ Mol Mutagen* 2001;38(4):311-5.
- 337 Pollycove M, Feinendegen LE. Radiation-induced versus endogenous DNA damage: possible effect of inducible protective responses in mitigating endogenous damage. *Hum Exp Toxicol* 2003;22:290-306.
- 338 Richardson DB, Wing S, Hoffmann W. Cancer risk from low-level ionizing radiation: the role of age at exposure. *Occupational Medicine* 2001;16:191-218.
- 339 Tanooka H. Threshold dose-response in radiation carcinogenesis: an approach from chronic beta-irradiation experiments and a review of non-tumour doses. *Int J Radiat Biol* 2001 May;77(5):541-51.
- 340 Vogel F. Risk calculations for hereditary effects of ionizing radiation in humans. *Hum Genet* 1992 May;89(2):127-46.
- 341 Wakeford R. 2001 International Symposium on Radiation and Health (2001 ISRH): low dose radiation effects on human health. *J Radiol Prot* 2002 Jun;22(2):224-6.

#### 10. Review e studi metodologici di particolare interesse.

- 342 Arrighi HM, Hertz-Picciotto I. The evolving concept of the healthy worker survivor effect. *Epidemiology* 1994;5(2):189-96.

- 343 Beninson D. Risk of radiation at low doses. *Health Phys* 1996 Aug;71(2):122-5.
- 344 Bithell JF, Stewart AM. Pre-natal irradiation and childhood malignancy: a review of British data from the Oxford Survey. *Br J Cancer* 1975;31:271-87.
- 345 Boice JD Jr, Lubin JH. Occupational and environmental radiation and cancer. *Cancer Causes Control* 1997 May;8(3):309-22.
- 346 Boice JD Jr. Radiation and non-Hodgkin's lymphoma. *Cancer Res.* 1992 Oct 1;52(19 Suppl):5489s-5491s.
- 347 Boice JD, Land CE, Shore RE, Norman JE, Tokunaga M. Risk of breast cancer following low-dose radiation exposure. *Radiology* 1979;131:589-97.
- 348 Carbone M, Kratzke RA, Testa JR. The pathogenesis of mesothelioma. *Semin Oncol* 2002 Feb;29(1):2-17.
- 349 Cardarelli J, Spitz H, Rice C, Buncher R, Elson H, Succop P. Significance of radiation exposure from work-related chest X-rays for epidemiological studies of radiation workers. *Am J Ind Med* 2002 Dec;42(6):490-501.
- 350 Cohen BL. Cancer risk from low-level radiation. *Am J Roentgenol* 2002;179:1137-43.
- 351 Cosset JM. Radiation-induced cancers: state of the art in 1997. *Cancer Radiotherapy* 1997;1:823-835.
- 352 Doll R. Effects of small doses of ionising radiation. *J Radiol Prot.* 1998 Sep;18(3):163-74.
- 353 Dunning DE Jr, Leggett RW, Sullivan RE. An assessment of health risk from radiation exposures. *Health Phys* 1984 May;46(5):1035-51.
- 354 Hall P, Holm LE. Radiation-associated thyroid cancer-facts and fiction. *Acta Oncol* 1998;37(4):325-30.
- 355 Harvey E, Boice JD, Honeyman M, Flannery J. Prenatal x-ray exposure and childhood cancer in twins. *N Engl J Med* 1985;312:541-5.
- 356 IARC. Ionizing radiation, Part I: X- and Gamma-Radiation, and Neutrons. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans 1999;75.
- 357 International Agency for Research on Cancer. Ionizing Radiation, Part I. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, IARC 1999;75. Disponibile al sito: <http://193.51.164.11/htdocs/announcements/vol75.htm> .
- 358 International Commission on Radiological Protection – ICRP. Disponibile al sito: [www.icrp.org](http://www.icrp.org) .
- 359 Johnson WH, Kearfott KJ. Lost life expectancy rate: an application to environmental levels of radiation. *Health Phys* 1997 Aug;73(2):312-9.
- 360 Kellerer AM. Risk estimates for radiation-induced cancer-the epidemiological evidence. *Radiat Environ Biophys.* 2000 Mar;39(1):17-24.
- 361 Land CE, Boice JD Jr, Shore RE, Norman JE, Tokunaga M. Breast cancer risk from low-dose exposures to ionizing radiation: results of parallel

- analysis of three exposed populations of women. *J Natl Cancer Inst* 1980 Aug;65(2):353-76.
- 362 Land CE. Uncertainty, low-dose extrapolation and the threshold hypothesis. *J Radiol Prot* 2002 Sep;22(3A):A129-35.
- 363 McMichael AJ. Standardized mortality ratio and "healthy worker effect": scratching beneath the surface. *J Occup Med* 1976;18:165-68.
- 364 Mettler FA, Sinclair WK, Anspaugh L, et al. The 1986 and 1988 UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) reports: findings and implications. *Health Phys* 1990 Mar;58(3):241-50.
- 365 Modan B. Low-dose radiation carcinogenesis. *Eur J Cancer* 1992;28A(6-7):1010-2.
- 366 Mole RH. Ionizing radiation as a carcinogen: practical questions and academic pursuits The Silvanus Thompson Memorial Lecture delivered at The British Institute of Radiology on April 18, 1974. *Br J Radiol* 1975 Mar;48(567):157-69.
- 367 Peckover R. Perspectives in low dose risk estimation. *J Radiol Prot* 2002 Sep;22(3A):A169-73.
- 368 Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiation Research* 2000;154:178-186.
- 369 Puskin JS, Nelson CB. Estimates of radiogenic cancer risks. *Health Phys* 1995 Jul;69(1):93-101.
- 370 Reissland JA, Kay P, Dolphin GW. The observation and analysis of cancer deaths among classified radiation workers. *Phys Med Biol* 1976 Nov;21(6):903-19.
- 371 Ron E. Ionizing radiation and cancer risk: evidence from epidemiology. *Radiation Research* 1998;150(suppl. 5):S30-41.
- 372 Schubauer-Berigan MK, Wenzl TB. Leukemia mortality among radiation-exposed workers. *Occup Med* 2001 Apr-Jun;16(2):271-87.
- 373 Schull WJ. Radiation risk estimation. *Sci Total Environ* 1992 Dec 15;127(1-2):1-8.
- 374 Shore RE. Radiation-induced skin cancer in humans. *Medical and Pediatric Oncology* 2001;36:549-554.
- 375 Tubiana M. Radiation risks in perspective: radiation-induced cancer among cancer risks. *Radiat Environ Biophys* 2000 Mar;39(1):3-16.
- 376 Tubiana MR. Carcinogenic effects of weak radiation doses. *Cancer Radiother* 1999;3(3):203-14.
- 377 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic RADIATION (unscear): Source and Effects of Ionising Radiation, UN Publication E, 1977;77(ix).
- 378 Upton A. The state of the art in the 1990's: NCRP Report no. 136 on the scientific bases for linearity in the dose-response relationship for ionizing radiation. *Health Phys* 2003;85:15-22.

- 379 Upton AC. Carcinogenic effects of low-level ionizing radiation. *J Natl Cancer Inst* 1990 Mar 21;82(6):448-9.
- 380 Yalow RS. Concerns with low-level ionizing radiation. *Mayo Clin Proc* 1994 May;69(5):436-40.