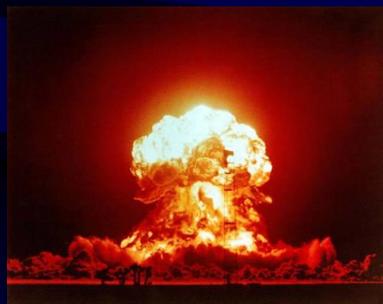


RADIAZIONI IONIZZANTI : EFFETTI SULLA SALUTE



Dott.ssa Francesca Cosentino

Dirigente Medico, U.O. Medicina Preventiva del Lavoro, AOUP

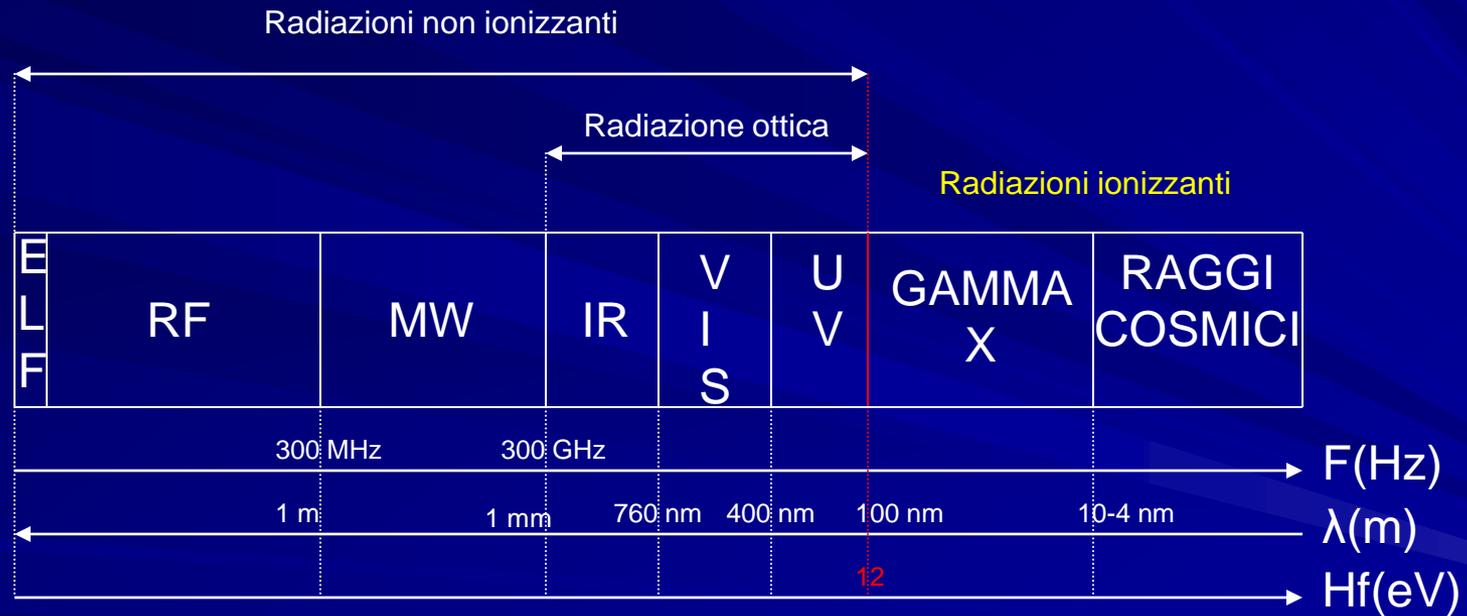
Medico Autorizzato INFN Sede Di Pisa

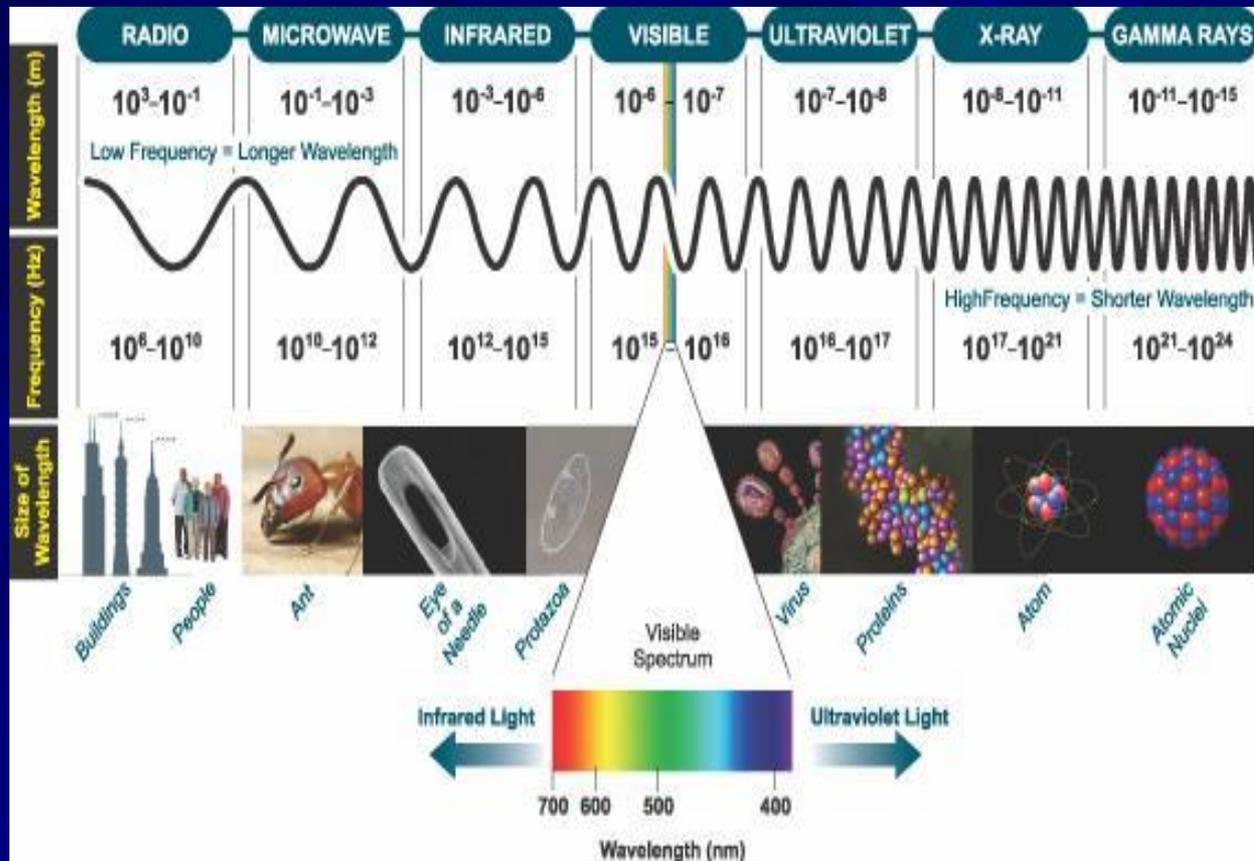
RADIAZIONI



- ***Definizione:*** fenomeno ondulatorio caratterizzato da un trasferimento di energia da un punto all'altro dello spazio senza che vi sia un movimento di corpi macroscopici e senza il supporto di un mezzo materiale.

Spettro elettromagnetico





RADIAZIONI IONIZZANTI

- Radiazioni che trasportano energia sufficiente a produrre fenomeni di ionizzazione nel mezzo attraversato con la formazione di una coppia di ioni mediante l'allontanamento di un elettrone orbitale dal nucleo atomico cui è legato (>12 eV).



RADIAZIONI IONIZZANTI

- **Direttamente ionizzanti**: dotate di carica e massa sufficiente a produrre coppie di ioni a seguito di successive interazioni con gli atomi del mezzo attraversato: cessione progressiva dell'energia fino ad essere completamente fermate (particelle alfa e beta)
- **Indirettamente ionizzanti**: cedono la propria energia in una o poche interazioni con la produzione intermedia di particelle cariche, che sono le vere responsabili della ionizzazione del mezzo.

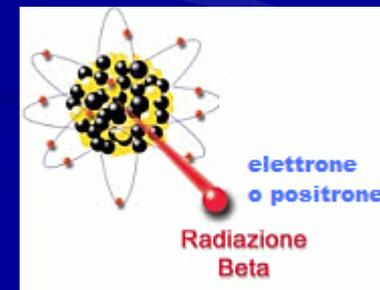
RADIAZIONI IONIZZANTI

■ **Corpuscolate**: costituite da particelle atomiche o subatomiche che si spostano ad elevatissima velocità o che trasportano energia cinetica.

- **Particelle alfa**: carica positiva (2 prot. 2 neutr.) alto rischio di contaminazione interna



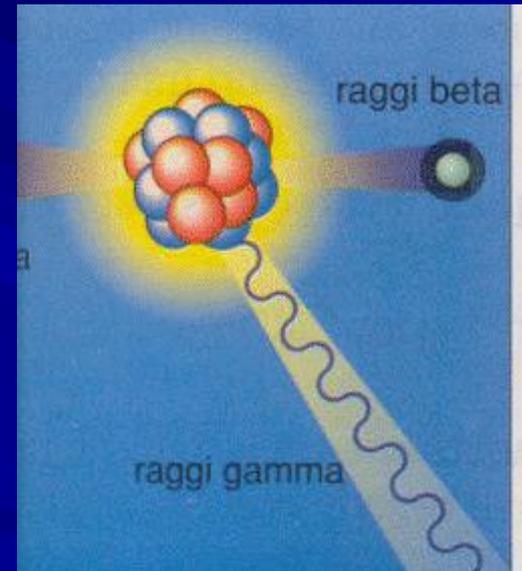
- **Particelle beta**: elettroni o positroni di piccola massa emessi dal nucleo di radioisotopi naturali ed artificiali; (alto rischio in caso di irradiazione esterna)



RADIAZIONI IONIZZANTI

- **Elettromagnetiche**: si propagano alla velocità della luce e trasportano energia sotto forma di quanti o fotoni

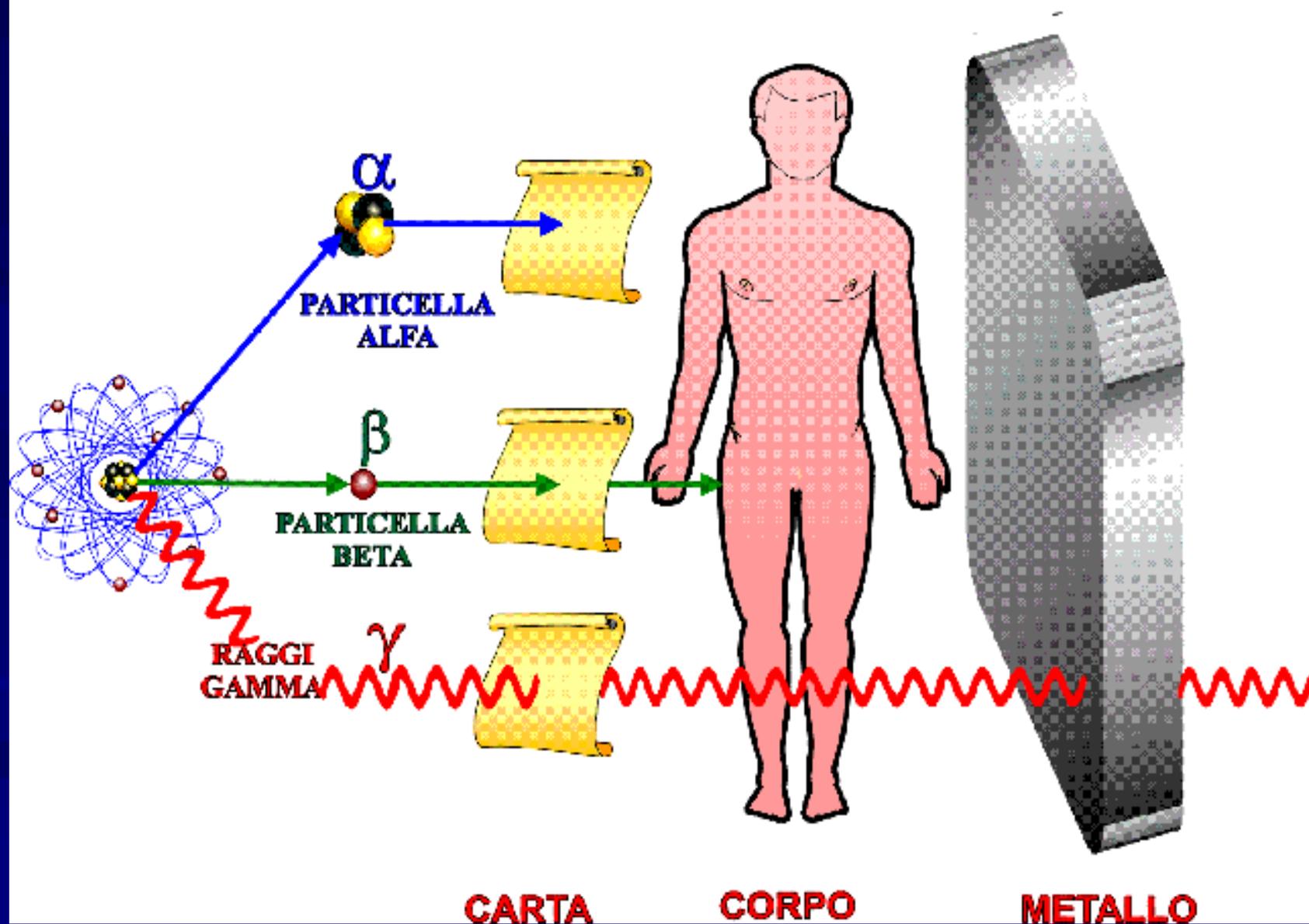
- *Raggi X*
- *Raggi Gamma*



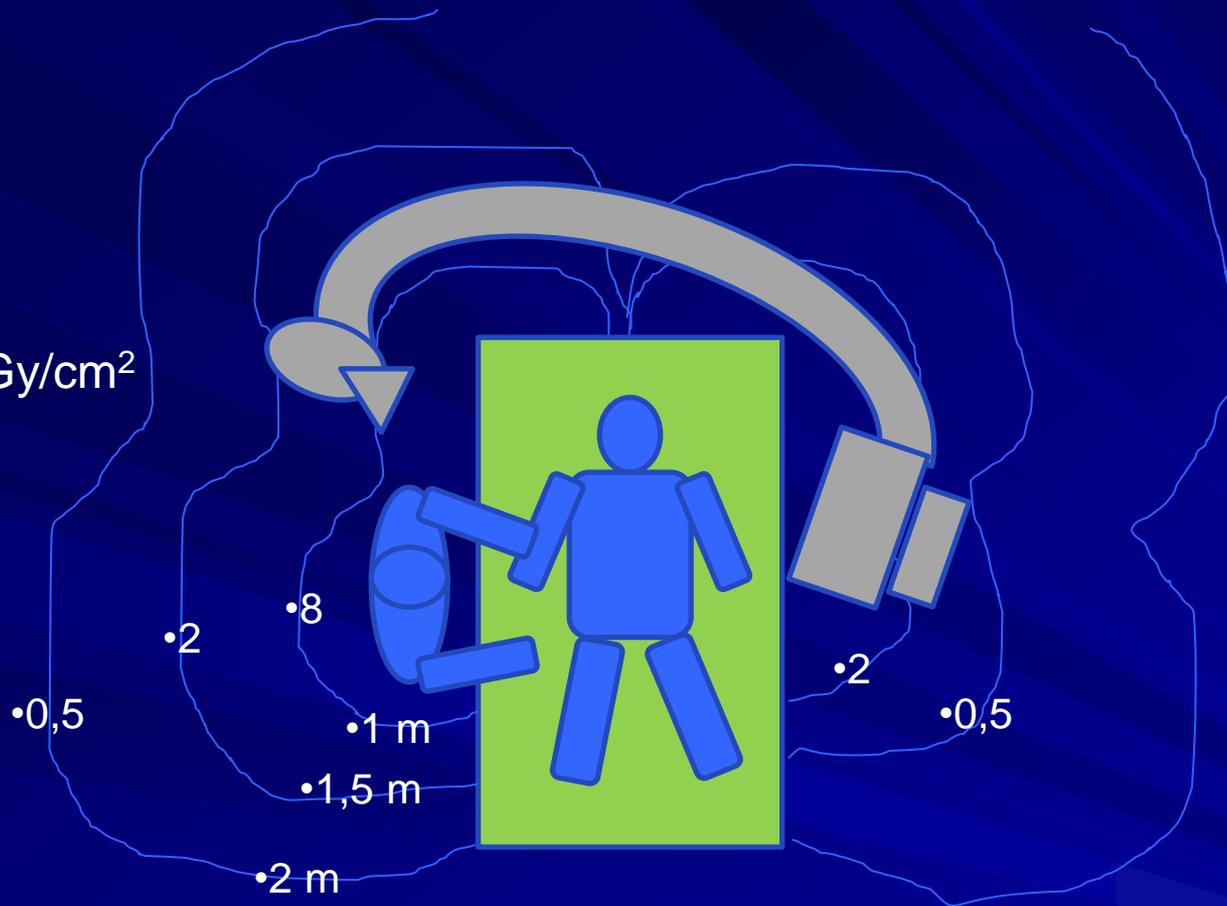
Radiazioni ionizzanti

Tipo	Natura	Potere di penetrazione	Origine
Raggi X	Elettromagnetica	+++	Tubi radiogeni
Raggi gamma	Elettromagnetica	+++	Nuclei di radioisotopi
Raggi alfa	Corpuscolare	+	Nuclei di radioisotopi
Raggi beta	Corpuscolare	++	Atomi di radioisotopi
Neutroni	Corpuscolare	++++	Impianti nucleari

RADIAZIONI E LORO POTERE DI PENETRAZIONE



• $\mu\text{Sv per Gy/cm}^2$



• $\text{Intensità} = 1/d^2$

Unità di misura dell'esposizione a R.I.

Grandezza	Definizione	Unità di misura nel S.I.	Fattore di conversione
Dose assorbita	energia assorbita per unità di massa	Gray (Gy)	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$ (1 Joule per Kg)
Dose equivalente	dose assorbita, nel tessuto o organo T, pesata in base al tipo e alla qualità della radiazione R	Sievert (Sv)	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$
Dose efficace	somma delle dosi equivalenti pesate in tutti i tessuti e organi del corpo causate da esposizione interna ed esterna	Sievert (Sv)	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$

Fonti di esposizione

Naturale

Raggi cosmici (14%)

Radioattività
del suolo (19%)

Radioattività
dell'aria (radon 37%)

Radioattività
delle acque

Artificiale

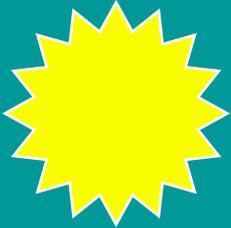
Generatori
di raggi x

Isotopi radioattivi

Rifiuti radioattivi

Radiation in Life

Solar Radiation



Cosmic Rays



Nuclear
Medicine



X-Rays



Consumer
Products



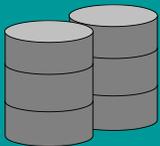
Radon ${}^4_2\alpha^{++}$



Each
Other



Radioactive
Waste



Terrestrial
Radiation



Food &
Drink



Nuclear
Power



Effetti biologici



Effetti chimico-biologici

■ **A livello molecolare**

- Azione indiretta: radiolisi dell'acqua con formazione di radicali liberi
- Azione diretta: danno diretto sul DNA, denaturazione delle proteine, lesioni del filamento di RNA, turbe metaboliche

■ **A livello cellulare**

- morte cellulare
- Alterazioni cromosomiche (dicentrici)
- blocco in metafase G2 (ritardo mitotico)
- depressione della velocità di sintesi del DNA

Danno d'organo

■ *Legge di Bergonie e Tribondeau*

■ **Scala di radiosensibilità tissutale (Ellinger)**

- Midollo osseo
- Gonadi maschili e femminili
- Strato basale della cute
- Cristallino
- Epitelio intestinale
- Alveoli polmonari
- Dotti biliari
- Tubuli renali
- Endoteli e tessuti connettivi

Scarsamente radiosensibili: tessuto osseo, muscolare e nervoso

Effetti biologici

- **Effetti stocastici**
(probabilistici)
- **Effetti non stocastici**
(graduati)

Riferimenti legislativi

DPR 13 Febbraio 1964
n.185

DM 6 Giugno 1968

DM 2 Febbraio 1971

DPR 13 Luglio 1990 n.449

DM 2 agosto 1991

DL 31 luglio 2020 n.101

DL 26 maggio 2000 n.241

DL 9 maggio 2001 n.257

DL 11 giugno 2001 n.488

- **Giustificazione:** le attività che comportano esposizione alle R.I. debbono essere preventivamente giustificate e periodicamente riconsiderate alla luce dei benefici che da esse derivano.
- **Esposizione:** le esposizioni alle R.I. debbono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali.
- **Limiti:** la somma delle dosi ricevute ed impegnate non deve superare i limiti prescritti, in accordo con le disposizione di legge.

Dosi e rischio principali procedure diagnostiche

Procedura	Dose effettiva (mSv)	N° equivalente di rx torace
Rx torace (pa)	0,02	1
Panoramica dentale	0,01	0,5
Mammografia	0,4-2	20-100
Urografia	2,5	125
TC colonna lombare	6	300
TC-PET	25	1250
Angiografia coronarica	3-16	150-800
Scintigrafia polmonare (Tc-99)	1	50

Procedura	Dose effettiva (mSv)	Numero equivalente di radiografie del torace	Alcune stime di rischio supplementare di cancro fatale
Densitometria ossea	0,001	0,05	
Rx dentale	0,005	0,25	
Rx dentale (panoramica)	0,01	0,5	1/2.000.000
Rx arti e articolazione (tranne anca)	<0,01	<0,5	<1/2.000.000
Rx anca	0,3	15	
Rx torace (postero-anteriore)	0,02	1	1/1.000.000
Rx torace 2 proiezioni	0,1	5	1/100.000
Rx cranio	0,07	3,5	
Rx colonna dorsale	0,7	35	
Rx addome	1	50	1/10.000
Mammografia	0,4-2	20-100	
Urografia	2,5	125	
Cilisma opaco	7	350	
TC cranio	2	100	
TC colonna cervicale	6	300	
TC colonna dorsale	4,4	220	
TC colonna lombare	6	300	
TC torace-senza contrasto	8-15	400-750	1/1.200
TC addome	8-15	500	1/750
TC cardiaca	3-15	150-750	1/750
TC total body	10-21	500-1.050	1/1.000
TC-PET	25	1.250	
Angiografia cerebrale	5	250	
Angiografia periferica	2,7-14	140-700	
Angiografia coronarica	3-16	150-800	
Angiografia addominale	6-23	300-1.150	
Angioplastica coronarica o ablazione	15 (7-57)	750	
Scintigrafia di perfusione polmonare (Tc-99m)	1	50	1/10.000
Scintigrafia renale (Tc-99m)	1	50	
Scintigrafia ossea (Tc-99m)	4	200	
Scintigrafia di perfusione miocardica da stress/riposo (mibi)	9	450	
Scintigrafia di perfusione miocardica da stress/riposo (Tl-201)	41	2.050	

Figure di riferimento DLgs 101/20

ESPERTO DI RADIOPROTEZIONE

(ex Esperto Qualificato)

Misurazioni radioprotezionistiche

Classificazione lavoratori

Individuazione aree lavorative

Classificazione lavoratori

Lavoratori esposti se suscettibili di superare:

- Dose efficace > 1 mSv/anno
- Dose Equivalente Cristallino > 15 mSv/anno
- Dose Equivalente pelle >150 mSv/anno
- Dose Equivalente per estremità >50 mSv/anno



Zona classificata



Lavoratori esposti CAT. A:

- Dose efficace > 6 mSv/anno
- Dose Equivalente Cristallino > 15 mSv/anno
- Dose Equivalente pelle ed estremità >150 mSv/anno



Zona Controllata

Lavoratori esposti CAT. B: quelli che non rientrano in cat.A

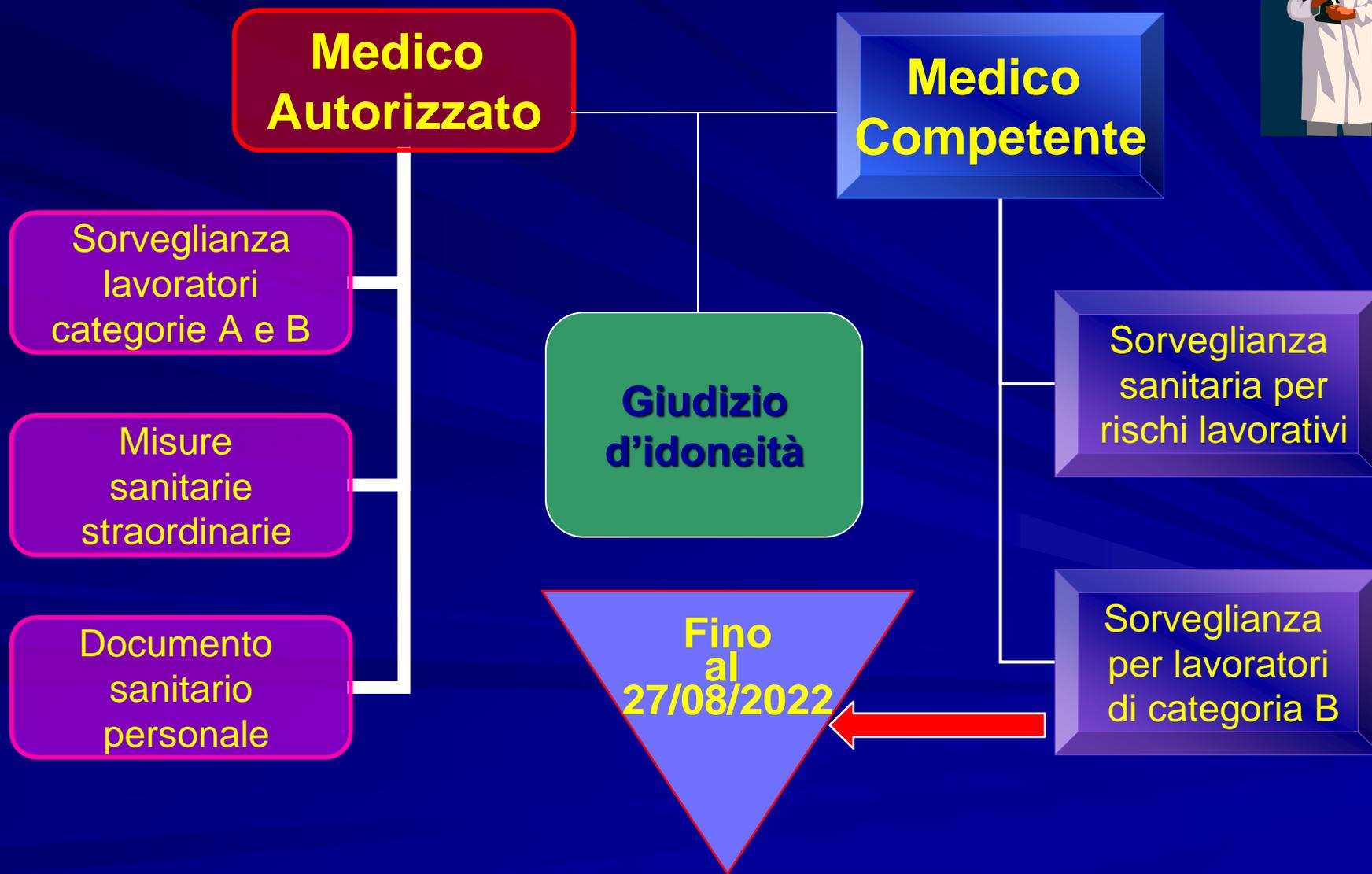


Zona Sorvegliata

Limiti di dose (art. 146):

- Dose efficace 20 mSv/anno
- Dose Equivalente Cristallino 20 mSv/anno
- Dose Equivalente pelle 500 mSv/anno
- Dose Equivalente per estremità 500 mSv/anno

Figure di riferimento DLgs 101/20



Art. 138.

Elenco dei medici autorizzati

- Presso il Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali è tenuto l'elenco dei medici autorizzati cui sono iscritti su domanda, **i medici competenti** ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettera *h*) , *del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81* che abbiano i requisiti stabiliti dal successivo comma 2 e che dimostrino di essere in possesso della capacità tecnica e professionale necessaria per lo svolgimento dei compiti

Art. 139.

Attribuzioni del medico autorizzato

1. Nell'esercizio delle proprie funzioni, il medico addetto alla sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti, fermi comunque restando gli altri compiti previsti nel presente Titolo:

- a) **effettua l'analisi dei rischi individuali per la salute** connessi alla destinazione lavorativa e alle mansioni ai fini della programmazione della sorveglianza sanitaria del lavoratore, anche attraverso accessi diretti negli ambienti di lavoro;
- b) **istituisce e aggiorna i documenti sanitari personali** e li consegna all'INAIL con le modalità previste all'articolo 140 del presente decreto;
- c) **consegna al medico autorizzato subentrante i documenti sanitari personali** di cui alla lettera b) , nel caso di cessazione dall'incarico;
- d) **fornisce consulenza al datore di lavoro** per la messa in atto di infrastrutture e procedure idonee a garantire la sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti, sia in condizioni di lavoro normale che in caso di esposizioni accidentali o di emergenza.

Effetti non stocastici

Acuti

Sind. da Panirradiazione

Sindrome Midollo Osseo

Sindrome Gastrointestinale

Sindrome Neurologica

Eritema Cutaneo

Semplice

Boloso

Ulceroso

Sterilità

Temporanea

Definitiva

Tardivi

Cataratta

Cronici

Radiodermite Cronica

Valutazione
Prognostica

Sopravvivenza
Impossibile
oltre
500-600 rad

Sopravvivenza
Possibile per
200-450 rad

Sopravvivenza
Probabile per
100- 200 rad

Sopravvivenza
Certa per meno
di 100 rad

EFFETTI STOCASTICI

Neoplasie

Leucemie

K tiroide

K mammella

K polmone

K cute

Effetti genetici

Aborti spontanei

Mortalità neonatale

Malformazioni congenite
e malattie nella prole

REAZIONI TISSUTALI

(DANNI DETERMINISTICI)

- Compare soltanto al superamento di una dose-soglia caratteristica di ogni effetto
- Comparsa dell'effetto in tutti gli irradiati
- Periodo di latenza solitamente breve
- Gravità delle manifestazioni cliniche aumenta con l'aumentare della dose

Volume 41 Nos. 1-2 2012

ISSN 0146-6453
ISBN 978-0-7020-5227-9

ICRP

Annals of the ICRP

ICRP Publication 118

ICRP Statement on Tissue Reactions
and

Early and Late Effects of Radiation in Normal
Tissues and Organs – Threshold Doses
for Tissue Reactions in a Radiation
Protection Context



Soglie di dose

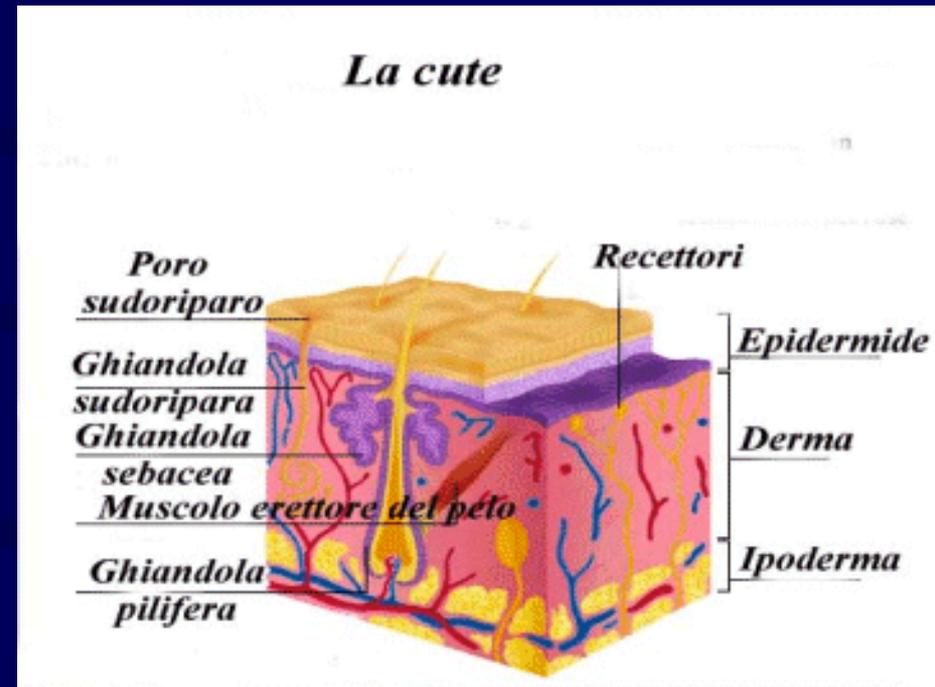
	Esposizione acuta (Gy)	Esposizioni frazionate	Esposizioni fortemente protratte (Gy/Y)
Sterilità permanente	6	NA < 6	2,0
Ovaio	3	6,00	> 0,2
Cristallino opacità	0,5 – 2,0 =	5,0	> 0,1
Cataratta	5,0 0,5	>8,0 0,5	>0,15 0,5
Depressione emopoiesi	0,5	N.A. 10-14	> 0,4
Aplasia Mortale	1,5	N.A.	> 1

CUTE

- **Patogenesi**: danno arteriolare con conseguenti turbe di permeabilità della parete, del tono, della contrattilità del vaso e della velocità di circolo.
- **Esposizione acuta**:
 - ✓ Eritema (semplice, bollosa, ulcerosa): 3-5 Gy
 - ✓ Epidermite: 5-8 Gy
 - ✓ Epidermite essudativa 12-20 Gy
 - ✓ Necrosi cutanea: >20Gy

CUTE

- Esposizione cronica a basse dosi (*radiodermite cronica*):
 - ✓ Retrazione del derma
 - ✓ Distrofia ungueale
 - ✓ Triade di Wolbach*
 - ✓ Epitelioma spinocellulare



* Discheratosi, atrofia, teleangectasie

Time of onset of clinical signs of skin injury depending on dose of radiation exposure

Stage/symptoms	Dose range (Gy)	Time of onset
Erythema	3-10	2-3 weeks
Epilation	> 3	14-18 days
Dry desquamation	8- 12	25-30 days
Moist desquamation	15-20	20-28 days
Blister formation	15-25	15-25 days
Ulceration (within skin)	> 20	2-3 weeks
Necrosis (deeper penetration)	25	3 weeks

“CUTE DEL RADIOLOGO”

Nell'irradiazione cronica della cute (soprattutto in corrispondenza delle mani), l'esperienza clinica, acquisita prevalentemente nella “fase eroica” dalla Radiologia, ha dimostrato che sono necessarie dosi di qualche decimo di Gy alla settimana e per lunghi periodi (molti mesi, anni) per causare una radiodermite cronica.

INDEX OF CORN

F. C.

J. 0



INSTITUT CURIE

F. C.

J. 20





Midollo Osseo

Esposizioni acute

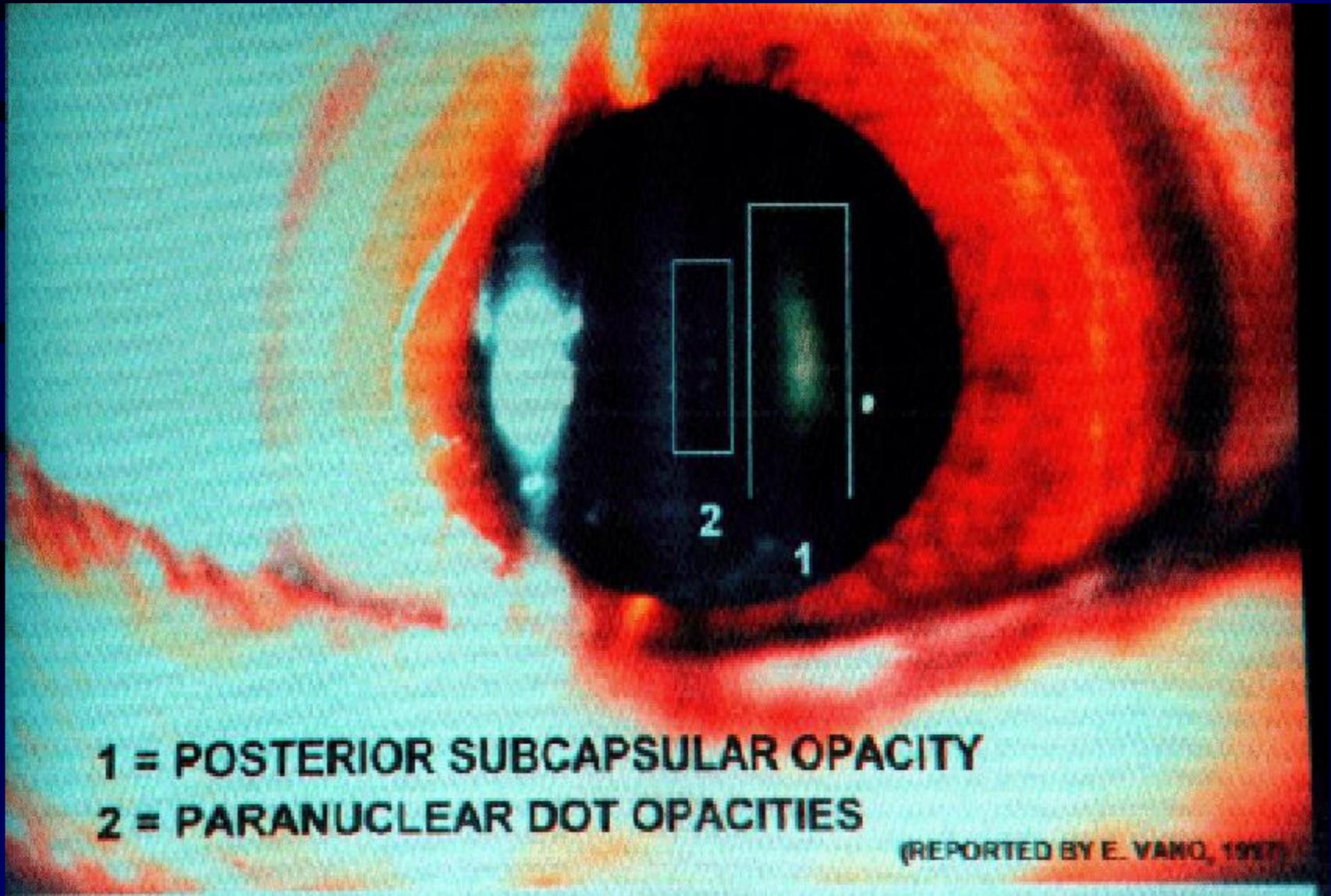
- **Linfociti:** diminuzione massima in 3-4 gg. con persistenza della linfocitopenia per 5-6 sett. e ritorno alla norma in circa 6 mesi
- **Neutrofili:** iniziale neutrofilia (immissione in circolo delle riserve tissutali dopo lo shock); leucopenia con picco al 9° giorno; lieve ripresa e seconda crisi leucopenica in 20°-30° giorno. Recupero in circa sei mesi.
- **Piastrine:** minimo in V settimana e ritorno alla norma in circa 2 mesi.
- **Emazie:** anemia modesta e tardiva

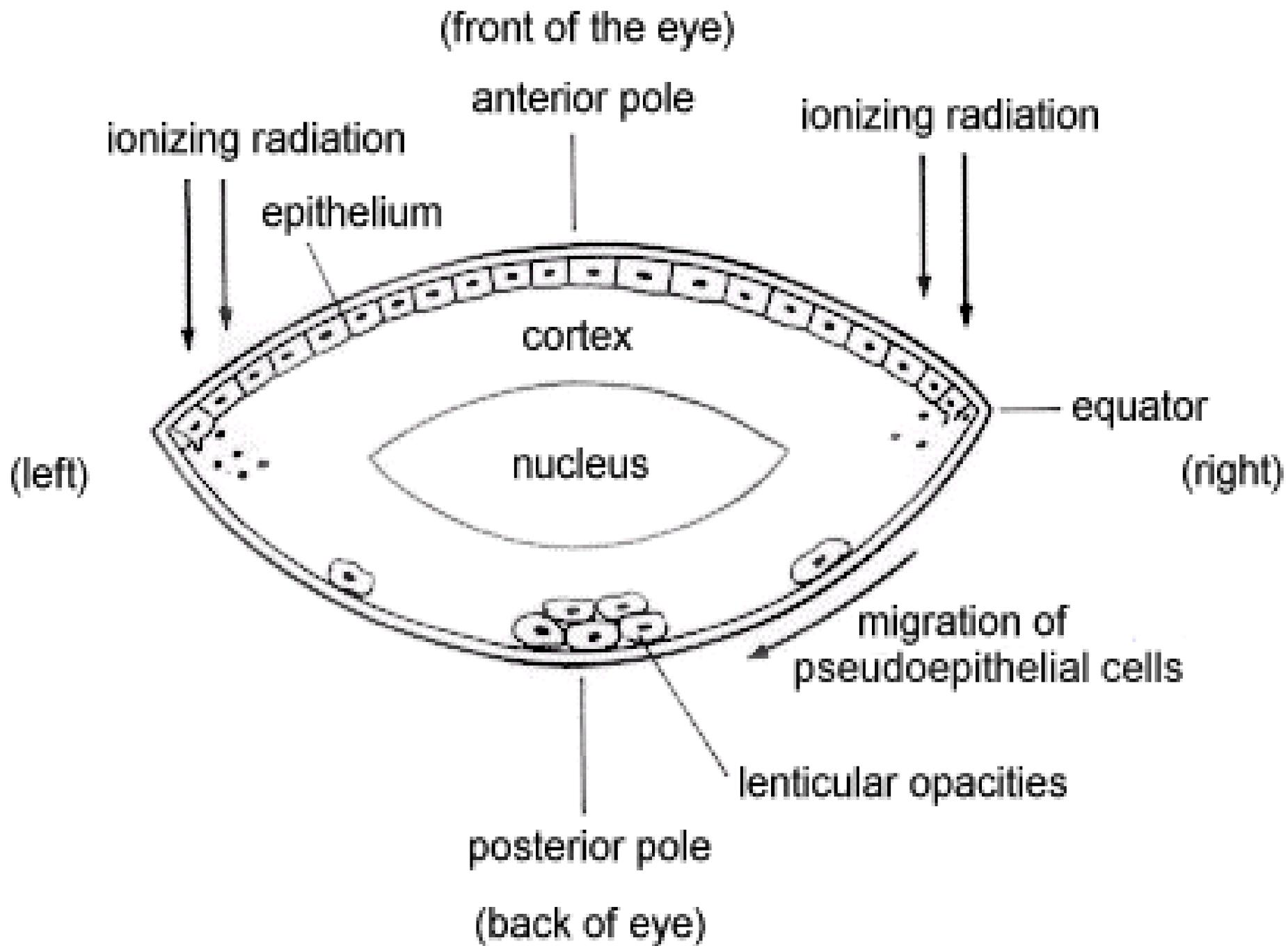
Midollo Osseo

Esposizioni croniche

- *Mielosclerosi*
- *Aplasia midollare*
- *Leucemie*

Cataract in eye of interventionist after repeated use of over table x-ray tube





WHO Fact sheet N.303 April 2006
Health effects of the Chernobyl accident:
an overview

“Chernobyl cataract studies suggest that radiation opacities may occur from doses as low as 250 mSv.

Recent studies among other populations exposed to ionizing radiation(e.g.atomic bomb survivors, astronauts,patients who received CT-scans to the head) support this finding.”

Litvinenko



Litvinenko prima e dopo la
radiocontaminazione con Polonio-210
(α emittente)
Novembre 2006

DANNI SOMATICI STOCASTICI

- Non richiedono il superamento di un valore-soglia di dose per la loro comparsa
- Sono a carattere probabilistico
- Sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta
- Sono dimostrati dalla sperimentazione radiobiologica e dall'evidenza epidemiologica

DANNI SOMATICI STOCASTICI

- Frequenza di comparsa maggiore se le dosi sono elevate
- Si manifestano dopo anni, talora decenni, dalla irradiazione
- Non mostrano gradualità di manifestazione con la dose ricevuta, quale che sia la dose
- Sono indistinguibili dai tumori indotti da altri cancerogeni

DANNI STOCASTICI

- Correlazione tra *r.i.* e induzione oncogena
- Capacità di iniziazione e promozione
- Effetto a carico del DNA

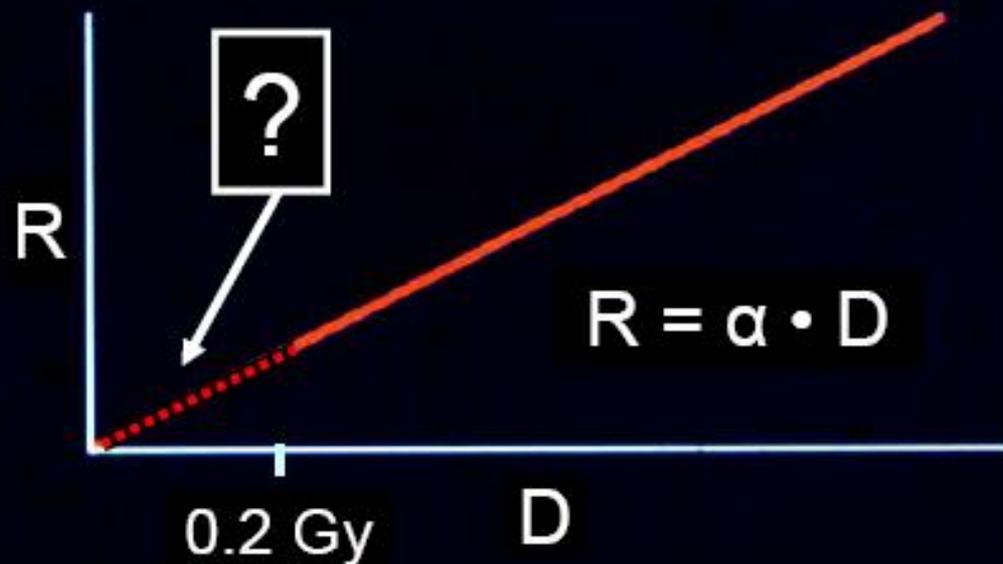
EFFETTI SOMATICI (individuo esposto)

- STOCASTICI
 - Tumori solidi
 - Leucemie

EFFETTI EREDITARI (PROGENIE)

- STOCASTICI
 - Mutazioni genetiche
 - Aberrazioni cromosomiche

ICRP Supported by Report BEIR VII
prefers recommendations to be based
on the linear, no-threshold (LNT) dose-response



R = cancer probability in exposed tissue
D = absorbed dose



Principali serie epidemiologiche per lo studio degli effetti stocastici delle Radiazioni Ionizzanti

Sopravvissuti giapponesi (Hiroshima e Nagasaki)

Pazienti trattate con fluoroscopia toracica

Pazienti irradiati per spondilite anchilopoietica

Pazienti irradiati per “tinea capitis”

Pazienti trattati con radio per TBC

Minatori esposti al radon

Pittori di quadranti luminescenti di orologi



- **MODELLI DI RELAZIONE DOSE-EFFETTO NELLA**
- **RADIOINDUZIONE DEGLI EFFETTI STOCASTICI SOMATICI**

- **(Leucemie e tumori solidi)**



La coorte dei sopravvissuti giapponesi all'esplosione atomica **Life Span Study (LSS)** è il “golden standard” epidemiologico per la valutazione degli effetti stocastici radioindotti (tumori solidi e leucemie)

Risk factors

Cancer \Rightarrow 0.005% per mSv

Hereditary \Rightarrow 0.0002% per mSv

Probability of stochastic effects, p

Background incidence \rightarrow

In this zone the relationship is irrelevant

increment of D

risk factor

increment of p

Dose, D

background annual dose \uparrow

average 2.4 mSv
typical 10 mSv
high 100 mSv

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.

integrato con il

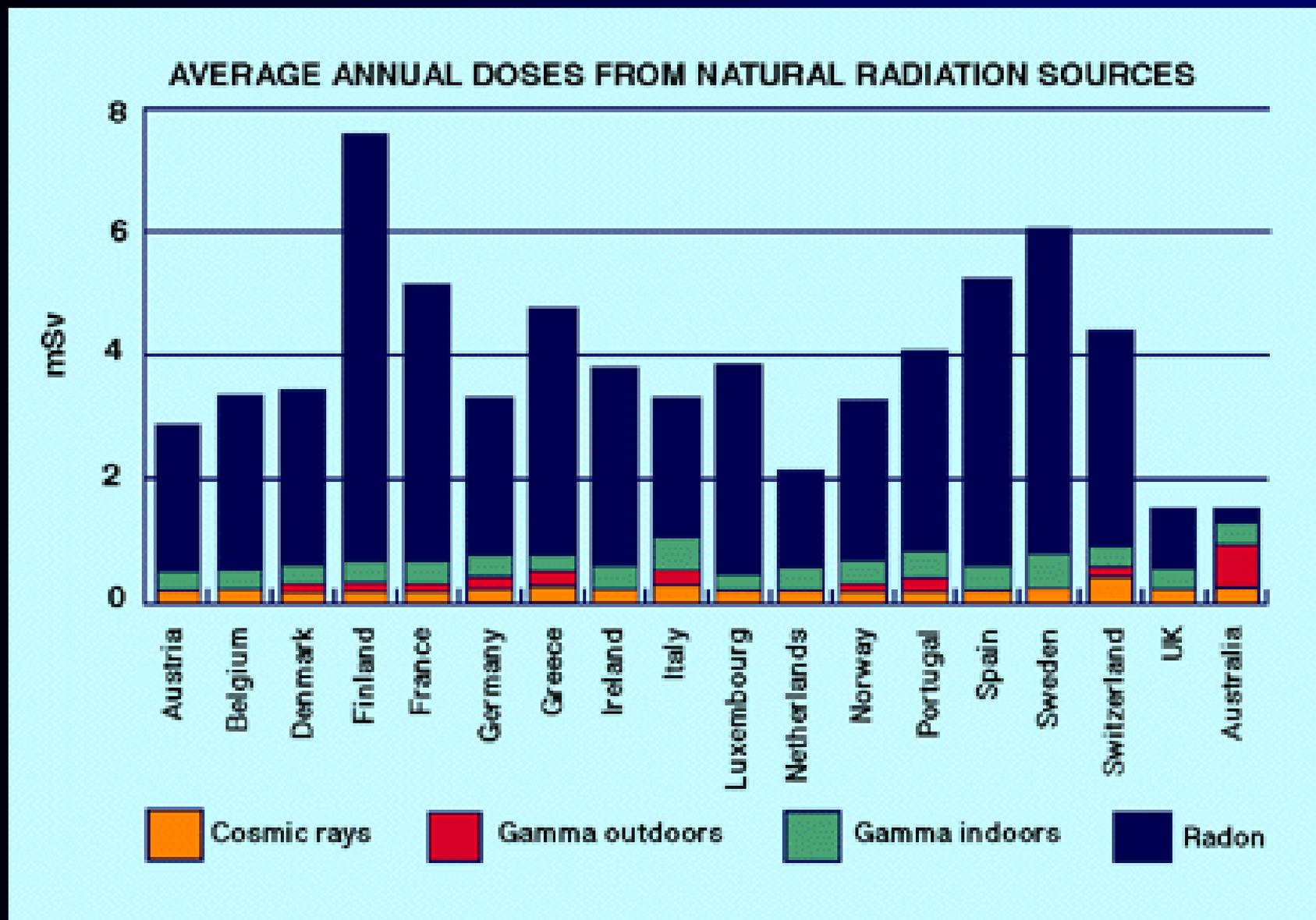
D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241

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

“Art. 4 – *Definizioni*

(Nota: il presente articolo sostituisce gli artt. 4, 5 e 6 del D.Lgs. 230/95)

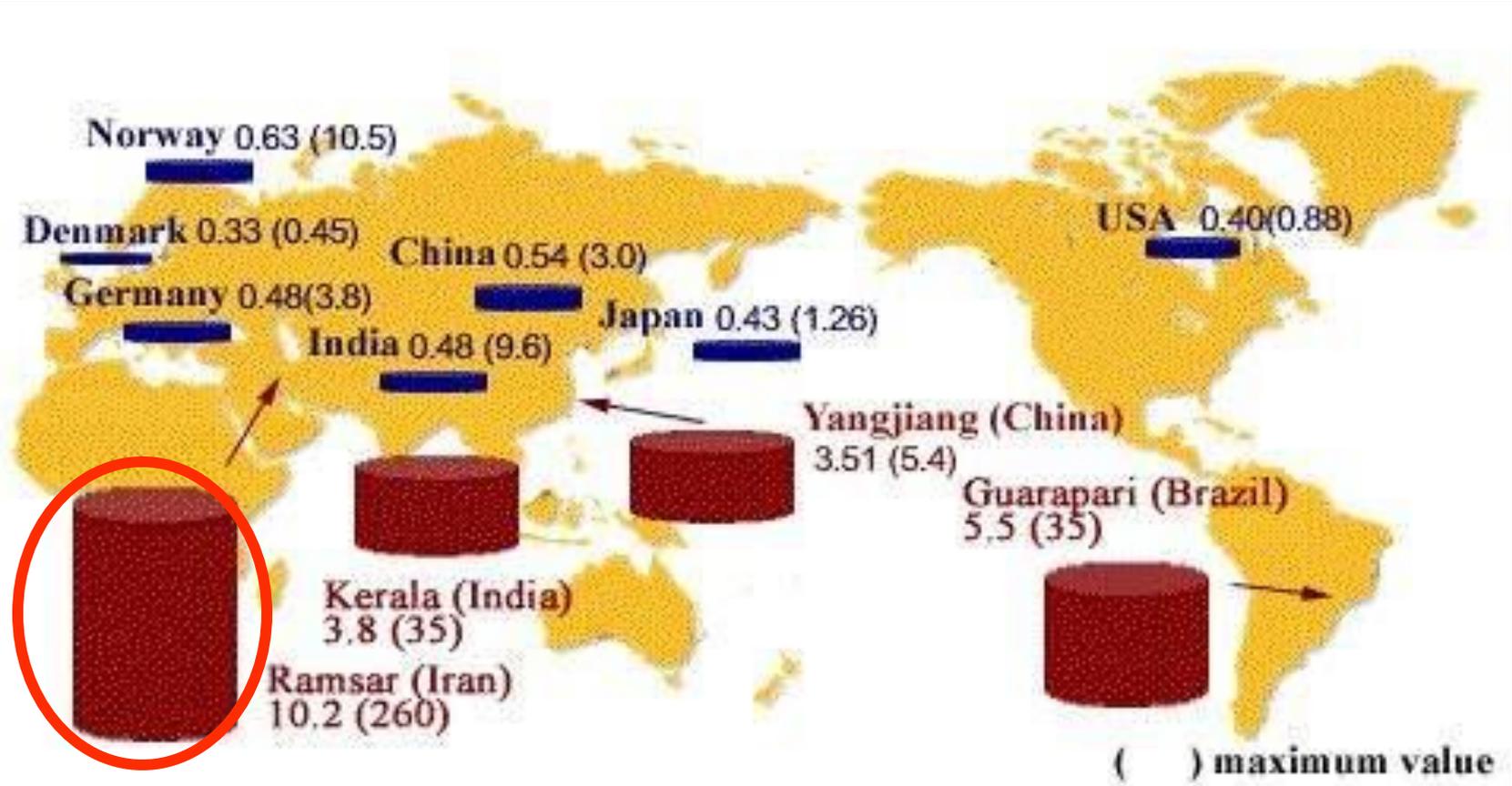
e) **fondo naturale di radiazioni**: insieme delle
radiazioni ionizzanti provenienti da **sorgenti
naturali, sia terrestri che cosmiche,**
sempreché l'esposizione che ne risulta non sia
accresciuta in modo significativo da attività
umane;



Country averages : extreme cases not shown (e.g. Kerala (India), Ramsar (Iran))

There are several places in the world where the level of natural radiation is unusually high.

According to UNSCEAR 2000 report, Ramsar, in northern Iran, has some inhabited areas with the highest known natural radiation levels in the world.
: 10.2mSv/y (up to 260 mGy/y)





Guarapari Beach, Brazil

Radioactive beach
sands eroded from
surrounding
mountains
(Monazite).

175 mSv · a⁻¹



**Ramsar, Mar
Caspio, Iran**
(Radio contenuto nel
travertino)
263 mSv ·a⁻¹

SORVEGLIANZA SANITARIA

L'obbligo della sorveglianza non è correlato necessariamente all'effettivo assorbimento di una dose, piccola che sia, quanto piuttosto alla *suscettibilità di ricevere una dose*

(D.Lgs. n°101/2020)

SORVEGLIANZA SANITARIA

- Verifica della compatibilità dello stato di salute
- Acquisizione di dati di riferimento utili in caso di sovraesposizione accidentale
- Diagnosi precoce di malattia professionale certa o presunta
- Valutazione di efficacia delle misure di controllo del rischio
- Fornire supporti utili per le strategie di protezione della salute nei luoghi di lavoro

SORVEGLIANZA SANITARIA (danni deterministici)

- Dati dosimetrici e specifiche soglie di dose
- Valori soglia indicati:
 - Esposizione singola di breve durata
 - Esposizione protratta e frazionata

SORVEGLIANZA SANITARIA (danni stocastici)

- Prevenzione oncologia secondaria

Riferimenti:

- Scala di priorità di radioinduzione dei tumori letali
- Raccomandazioni dell' American Cancer Society per diagnosi precoce di cancro in soggetti asintomatici

Art. 140.

Documento sanitario personale

1. Per ogni lavoratore esposto il medico autorizzato istituisce, aggiorna e conserva un documento sanitario personale in cui sono compresi:
 - *a) i dati raccolti nella visita preventiva e nelle visite mediche periodiche, straordinarie e in occasione della sorveglianza sanitaria eccezionale;*
 - *b) la destinazione lavorativa, i rischi a essa connessi e i successivi mutamenti;*
 - *c) le dosi ricevute dal lavoratore, derivanti sia da esposizioni normali, sia da esposizioni accidentali o di emergenza ovvero soggette ad autorizzazione speciale, utilizzando i dati trasmessi dall'esperto di radioprotezione.*

Art. 140.

Documento sanitario personale

- 2. I lavoratori hanno diritto ad accedere ai risultati delle valutazioni di dose, delle valutazioni delle introduzioni di radionuclidi e degli esami medici e radiotossicologici che li riguardano, e di ricevere, dietro loro richiesta, copia della relativa documentazione. Copia del documento sanitario personale è consegnata dal medico autorizzato all'interessato su sua richiesta e, comunque, alla cessazione del rapporto di lavoro.

Art. 140.

Documento sanitario personale

- 3. Il documento sanitario personale è conservato sino alla data in cui il lavoratore compie o avrebbe compiuto il settantacinquesimo anno di età, e in ogni caso per almeno trenta anni dopo la cessazione del lavoro comportante esposizione alle radiazioni ionizzanti.
- 4. Il medico autorizzato provvede entro nove mesi dalla cessazione del rapporto di lavoro o dalla cessazione dell'attività di impresa comportante esposizioni alle radiazioni ionizzanti a consegnare i predetti documenti sanitari personali unitamente ai documenti di cui all'articolo 132, comma 1, lettere *d) ed e)* all'*INAIL*, che assicura la loro conservazione nel rispetto dei termini e delle modalità previste nel presente articolo.

**Protocollo per la sorveglianza
sanitaria del personale esposto
a radiazioni ionizzanti**

Accertamenti per la visita preventiva

- Visita medica
- Es.ematochimici (emocromo con formula, creatininemia, transaminasi, GGT, protidogramma elettroforetico, glicemia, colesterolo, trigliceridi, fibrinogeno, attività protrombinica, PTT, TSH), es.urine
- Visita oculistica
- Ecografia tiroide

Accertamenti per la visita periodica (2)

Uomini > 40 anni

Sangue occulto nelle feci	biennale
PSA	annuale
Eco addome	biennale
Eco tiroide e ormoni	biennale

Donne > 40 anni

Sangue occulto nelle feci	biennale
Eco addome	biennale
Eco tiroide e ormoni	biennale
Mammografia	biennale
Pap-test	biennale

Accertamenti per la visita di chiusura

- Visita medica
- Es.ematochimici (emocromo con formula, creatininemia, transaminasi e gGT, protidogramma elettroforetico, glicemia, colesterolo tot e hdl, trigliceridi, fibrinogeno, attività protrombinica, PTT, TSH), es.urine
- Visita oculistica
- Eco tiroide

GIUDIZIO DI IDONEITA'

In base alle risultanze delle visite mediche i lavoratori sono classificati 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.