Docente: Marie Claire Cantone

Lezione 1, 2, 3

Argomenti

NOTA - introduttiva

- Commissione Internazionale di Protezione Radiologica
- Scopo delle Raccomandazioni ICRP
- Struttura concettuale della RP
- Sistema di protezione radiologica per pratiche e interventi (ICRP 60)
- Concetto di detrimento
- I tre tipi di esposizione: occupazionale, medica, della popolazione
- Esposizioni potenziali
- Cenni questioni etiche in RP

- **Rischio radiologico:**

  -le basi per giudicare la significatività degli effetti delle radiazioni e modelli di proiezione (annex C ICRP60)
  -il giudizio degli esperti e la percezione del rischio
  -punti chiave della comunicazione del rischio

- **Evoluzione del sistema di protezione radiologica verso le nuove raccomandazioni**

  -analisi Raccomandazioni ICRP 103
  -documenti a supporto di ICRP 103
  -punti significativi della revisione

- **Il problema della stima di rischio nella diagnostica per immagine**

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION

ICRP nasce nel 1928 come "International X-ray and Radium Committee" e adotta il suo attuale nome nel 1950.

Consiste in:

Main Commission
Committee 1 – Radiation Effects
Committee 2 – Doses from Radiation Exposures
Committee 3 – Protection in Medicine
Committee 4 –Application of ICRP Recommendations

Committee 5- Protection of the Environment (nasce nel 2005 fino al 2017)

Task Groups
Working Parties

L'ICRP prepara le sue raccomandazioni considerando i principi fondamentali e le basi quantitative su cui poggiare le misure radioprotezionistiche, *lasciando poi ai vari organismi nazionali la responsabilità di definire una legislazione specifica e commisurata alle necessità dei singoli paesi*.

Publ. 1, 1959 contiene le prime raccomandazioni

Publ. 6, 1964

Publ. 9, 1966

Publ. 26, 1977

Publ. 60, 1990 "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection"

Publ. 103, 2007 " The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection"

Introduzione alla ICRP Publ. 60 in modo da cogliere i cambiamenti avvenuti con la più attuale ICRP Publ.103 e le **ricadute a livello legislativo** che sono assunte anche **a livello nazionale.**

ICRP Publ. 60

1. INTRODUCTION

Scopo delle Raccomandazioni

★ **Riguarda solo la protezione dalle radiazioni ionizzanti** *anche se si riconosce l'importanza della protezione per le non-ionizzanti.*

★ **ICRP desidera mettere in evidenza che le r.i. sono da trattare con** *attenzione più che con timore* **e che il rischio dovrebbe essere visto** *nella prospettiva con altri rischi*.

★ **Le procedure disponibili per il controllo dell'esposizione a r.i. sono sufficienti, se usate in modo appropriato, ad assicurare che** *tale esposizione sia una componente minore nello spettro di rischi* **a cui tutti sono esposti.**

★ **Scopo primario della RP è fornire un adeguato standard di protezione per l'uomo, senza limitare indebitamente i benefici derivati da esposizione.**

★ ICRP pensa che lo standard di **controlli ambientali** necessari per proteggere l'uomo ad un livello ritenuto desiderabile assicureranno **che altre specie non verranno poste a rischio**.

Casualmente singoli soggetti delle specie non umane potrebbero subire danno **ma questo non sarà esteso all'intera specie** o tale da creare disequilibrio fra le specie.

---

2. GRANDEZZE USATE IN RP

3. ASPETTI BIOLOGICI DELLA RP

4. STRUTTURA CONCETTUALE DELLA RP

★ **In considerazione dello scopo primario della RP, la struttura di base deve necessariamente includere giudizi scientifici e sociali.**

4. STRUTTURA CONCETTUALE DELLA RP

★ In considerazione dello scopo primario della RP, la struttura di base deve necessariamente includere giudizi scientifici e sociali.

★ Bisogna presupporre che anche piccole dosi di radiazioni possano produrre effetti sanitari deleteri (LNT). L'esistenza di una soglia per gli effetti deterministici consente di evitarli riducendo le dosi agli individui, ma gli effetti stocastici non possono essere evitati completamente.

4. STRUTTURA CONCETTUALE DELLA RP

★ In considerazione dello scopo primario della RP, la struttura di base deve necessariamente includere giudizi scientifici e sociali.

★ Bisogna presupporre che anche piccole dosi di radiazioni possano produrre effetti sanitari deleteri (LNT). L'esistenza di una soglia per gli effetti deterministici consente di evitarli riducendo le dosi agli individui, ma gli effetti stocastici non possono essere evitati completamente.

★ La struttura di base è intesa a prevenire l'insorgenza di effetti deterministici e assicurare che sia state prese misure ragionevoli per ridurre l'induzione di effetti stocastici.

4. STRUTTURA CONCETTUALE DELLA RP

★ **In considerazione dello scopo primario della RP, la struttura di base deve necessariamente includere giudizi scientifici e sociali.**

★ **Bisogna presupporre che anche piccole dosi di radiazioni possano produrre effetti sanitari deleteri (LNT). L'esistenza di una soglia per gli effetti deterministici consente di evitarli riducendo le dosi agli individui, ma gli effetti stocastici non possono essere evitati completamente.**

★ **La struttura di base è intesa a prevenire l'insorgenza di effetti deterministici e assicurare che sia state prese misure ragionevoli per ridurre l'induzione di effetti stocastici.**

NOTA SU:
GRANDEZZE ED EFFETTI BIOLOGICI IN RADIOPROTEZIONE

★ La maggior parte delle decisioni sulle attività umane si basa su *una forma implicita* di bilancio fra benefici e costi, vantaggi e svantaggi che portano alla conclusione che una particolare attività o pratica vale o non vale la pena di essere svolta.

Si riconosce che la pratica deve massimizzare il beneficio netto all'individuo o alla società.

★ Sarà necessario porre attenzione a vantaggi e svantaggi sia per la società nel suo insieme che alla protezione dei singoli. Distribuzioni non eque di benefici e detrimento, all'interno della popolazione possono essere evitati con l'attenzione alla protezione degli individui.

★ **Tutti gli individui sono esposti a radiazioni proveniente da almeno alcune sorgenti (naturali, per lavoro, per scopi medici…).**

A patto che le dosi individuali siano sotto soglia per gli effetti deterministici il contributo alla dose da parte di una singola sorgente ha un effetto che è indipendente dalle altre sorgenti.

★ **Tutti gli individui sono esposti a radiazioni proveniente da almeno alcune sorgenti (naturali, per lavoro, per scopi medici…).**

A patto che le dosi individuali siano sotto soglia per gli effetti deterministici il contributo alla dose da parte di una singola sorgente ha un effetto che è indipendente dalle altre sorgenti.

In genere ogni sorgente può essere trattata singolarmente. Ogni individuo è esposto a più sorgenti.

★ **Tutti gli individui sono esposti a radiazioni proveniente da almeno alcune sorgenti (naturali, per lavoro, per scopi medici…).**

A patto che le dosi individuali siano sotto soglia per gli effetti deterministici il contributo alla dose da parte di una singola sorgente ha un effetto che è indipendente dalle altre sorgenti.

In genere ogni sorgente può essere trattata singolarmente. Ogni individuo è esposto a più sorgenti.

Una stima della efficacia della protezione può essere *legata alla sorgente* **che produce la dose individuale (SOURCE-RELATED) o** *alla dose individuale* **ricevuta da un soggetto a seguito di tutte le sorgenti significative (INDIVIDUAL-RELATED)**

sempre secondo ICRP 60

PRATICHE –

attività che ci si aspetta che incrementino l'esposizione a radiazioni ionizzanti, es.:

- introducendo nuove sorgenti, percorsi o individui
- modificando l'insieme dei percorsi dalle sorgenti esistenti verso l'uomo

INTERVENTI –

attività che tendono a far decrescere l'esposizione, es.:

- rimuovendo le sorgenti esistenti,
- modificando percorsi,
- riducendo il numero di soggetti esposti

IL SISTEMA DI PROTEZIONE RADIOLOGICA

Per pratiche che sono proposte o che continuano

a) Nessuna pratica deve essere adottata a patto che produca benefici sufficienti agli individui esposti o alla società tali da bilanciare il detrimento che essa causa (Giustificazione di una pratica).

IL SISTEMA DI PROTEZIONE RADIOLOGICA

Per pratiche che sono proposte o che continuano

a) **Nessuna pratica deve essere adottata a patto che produca benefici sufficienti agli individui esposti o alla società tali da bilanciare il detrimento che essa causa (Giustificazione di una pratica).**

b) **In relazione a singole sorgenti all'interno di una pratica,** le dosi agli individui, il numero di soggetti esposti e le esposizioni **che potrebbero essere ricevute, devono essere mantenute ALARA "as low as reasonably achievable" tenendo conto di fattori economici e sociali. Al fine di limitare le inequità che possono risultare** da giudizi su base economica e sociale, **questa procedura è legata a restrizioni sulle dosi individuali, vincoli di dose, o sui rischi per gli individui nel caso di esposizioni potenziali, vincoli di rischio, (Ottimizzazione della protezione).**

IL SISTEMA DI PROTEZIONE RADIOLOGICA

Per pratiche che sono proposte o che continuano

a) ,,

b) ,,

c) L'esposizione risultante dalla combinazione di tutte le pratiche rilevanti è soggetta a limiti di dose o a controlli sul rischio nel caso di esposizione potenziale. Questo in modo da assicurare che nessun individuo sia esposto a *rischio da radiazioni giudicato inaccettabile in circostanze normali.*

Non tutte le sorgenti sono suscettibili di controllo per mezzo di azioni sulla sorgente ed è necessario definire quali sorgenti includere come rilevanti, prima di dare i limiti di dose (Limitazione individuali di dose e di rischio).

IL SISTEMA DI PROTEZIONE RADIOLOGICA

Per gli interventi

a) **L'intervento proposto deve risultare più buono di quanto non sia dannoso, ovvero la riduzione del detrimento risultante dalla riduzione di dose deve essere** sufficiente da giustificare i danni e i costi, includendo i costi sociali, dell'intervento.

b) **La forma, la scala e la durata dell'intervento deve** essere ottimizzata **in modo tale da** massimizzare il beneficio netto **di riduzione della dose, ovvero massimizzare il beneficio della riduzione del detrimento da radiazione sottraendo il detrimento associato all'intervento.**

c) **I limiti di dose non si applicano nel caso di intervento.**

IL SISTEMA DI PROTEZIONE RADIOLOGICA

Per gli interventi

Segue-

Nella maggior parte delle situazioni l'intervento non può essere applicato alla sorgente ma all'ambiente e alla libertà di azione individuale.

Le contromisure di un programma di intervento devono essere giustificate. ICRP raccomanda di *non decidere la necessità di intervento sulla base dei limiti di dose*, **anche se** *a livelli di dose che si avvicinano a quelli che possono causare effetti deterministici* ***qualche tipo di intervento è necessario.***

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DEL SISTEMA DI PROTEZIONE

Ogni sistema di protezione necessita una valutazione globale della sua efficacia *e non è sufficiente esaminare separatamente le singole componenti del sistema.*

Nelle pratiche, proposte o che continuano, bisogna andare a considerare le distribuzioni delle dosi individuali o delle dosi efficaci collettive che sono *attese* **o** *osservate***.**

Un confronto fra tipi di operazioni comparabili e gli andamenti nel tempo può indicare la possibilità di miglioramenti.

Per gli interventi la valutazione dell'efficacia *si concentra sulla pianificazione e sulla efficacia delle azioni* **intraprese nei singoli casi.**

IL CONCETTO DI DETRIMENTO

Introdotto già nella ICRP 26, 1977 come misura del danno totale che potrebbe essere risentito da un gruppo esposto e suoi discendenti come risultato di esposizione del gruppo a sorgenti di radiazioni.

Il detrimento sanitario è parte del detrimento totate, e ICRP si interessa solo di quello sanitario.

casi attesi per l'effetto moltiplicati per il fattore di peso

= 1 per morte individuo, o seri effetti ereditari

< 1 altri effetti

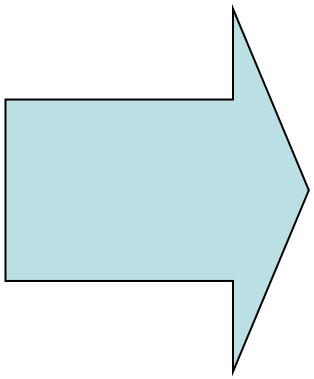
$$\overline{W} = \sum_i P_i \cdot W_i$$

P_i= probabilità dell'effetto deleterio i

W_i= conseguenza in presenza dell'effetto i (es. severità dell'effetto o sua distribuzione nel tempo)

ICRP usa il concetto di detrimento per differenti scopi

- **Per valutare le conseguenze di esposizioni continue e cumulate e quindi per raccomandare i limiti di dose.**
- **Per comparare le conseguenze di diverse dosi equivalenti nel corpo e quindi definire i (fattori di ponderazione tissutale) w_T.**
- **Per avere basi per la valutazione di dosi efficaci ad es. nella ottimizzazione di una pratica.**



Non è pensabile di avere un approccio singolo alla valutazione del detrimento.

Considerare il detrimento con un concetto di tipo multi-dimensionale.

Dose equivalente H_{TR} $H_{TR} = W_R D_{TR}$

W_R fattore di peso per la **R**adiazione

Dose assorbita nel tessuto o organo T, pesata in base alla radiazione R. D_{TR} è la dose assorbita media in T dovuta alla radiazione R

Dose efficace E $E = \Sigma W_T H_T$

Somma delle dosi equivalenti pesate nei tessuti e organi dovute ad esposizione interna ed esterna

W_T fattore di peso per il **T**essuto

Dose equivalente impegnata $H_T(\tau)$ $H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(\tau)dt$

Integrale, rispetto al tempo t, della intensità di dose equivalente nel tessuto o organo T, a seguito di radiazione al tempo t_0 . Il tempo τ è periodo in cui viene calcolato l'integrale (es. 50 anni per adulti e fino a 70 anni per neonati e bambini)

Dose efficace impegnata $E(\tau)$ $E(\tau) = \Sigma W_T H_T(\tau)$

Somma delle dosi equivalenti impegnate in un organo $H_T(\tau)$ risultanti da assunzione ciascuna moltiplicata per fattore di peso del tessuto W_T .

τ rappresenta il numero di anni (es. τ pari a 50 anni adulti e fino a 70 anni per neonati e bambini

S_T dose equivalente collettiva nel tessuto T, esprime l'esposizione ad uno specifico organo o tessuto per un gruppo di individui.

n. individui con dose equivalente fra H_T e $H_T + dH_T$

n. individui con dose media $\overline{H}_T$ per il sottogruppo i

$$S_T = \int_0^\infty H_T \cdot \frac{dN}{dH_T} dH_T \quad \text{oppure} \quad S_T = \sum_i \overline{H}_{T,i} \cdot N_i$$

S dose efficace collettiva esprime l'esposizione in una popolazione.

$$S = \int_0^\infty E \cdot \frac{dN}{dE} dE \quad \text{oppure} \quad S = \sum_i \overline{E}_i \cdot N_i$$

ICRP considera 3 tipi di esposizioni :

- 1)occupazionale, - 2)medica e – 3)della popolazione

1) Il controllo della ‘’*esposizione occupazionale”* si applica a livello di: sorgente (contenimento, schermatura in dipendenza dalle caratteristiche**), ambiente (**ventilazione, altro schermo**), individuo (**procedure operative, protezioni**)**

2) Nelle esposizioni mediche i controlli si applicano come parte della funzione di tipo diagnostico o terapeutico.

3) Per le esposizioni della popolazione i controlli si applicano a livello di sorgente

1) ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE

VINCOLI DI DOSE

Vincoli di dose sono valori source-related della dose individuale usati per limitare l'intervallo di opzioni considerate nel processo di ottimizzazione.

In molti tipi di occupazioni si possono definire i livelli di dose individuali che si possono avere per operazioni ben gestite e quindi questi come vincoli di dose per quel tipo di occupazione.

Questi livelli di dosi sono definiti a livello locale o nazionale **e si riferiscono specificatamente alle sorgenti considerate.**

1) ESPOSIZIONE OCCUPAZIONALE FEMMINILE

Per le donne non in gravidanza il controllo di esposizioni occupazionale è il medesimo che per l'uomo e non sono introdotti limiti di dose speciali.

Sempre in riferimento solo a ICRP 60

Dichiarata la gravidanza, il nascituro deve essere protetto con un limite supplementare di 2 mSv sulla superficie dell'addome della donna per il resto del periodo di gravidanza e limitando l'incorporazione di radionuclidi a 1/20 di ALI.

ICRP considera che l'uso dei vincoli di dose source-related fornisce già di solito una adeguata garanzia di conformità senza ulteriori restrizioni riguardo alle donne in gravidanza.

2) ESPOSIZIONE MEDICA

La giustificazione di una pratica con esposizione medica è legata alla singola procedura diagnostica o terapeutica caso per caso anche se per procedure diagnostiche semplici sulla base di comuni indicatore una giustificazione specifica non è necessaria.

(questo sempre in riferimento a ICRP 60)

Vi è l'esigenza di ridurre la dose in radiologia diagnostica attraverso l'ottimizzazione. Si consiglia di applicare con flessibilità i vincoli di dose e i livelli di investigazione per consentire alte dosi dove la valutazione clinica lo richiede.

In studi scientifici e clinici, in cui non sia diretto vantaggio per l'esposto volontario, si considera la necessità di vincoli.

2) ESPOSIZIONE MEDICA (segue)

Se la pratica è giustifica per diretto beneficio all'esposto ed è ottimizzata allora la dose al paziente sarà bassa quanto compatibile con gli scopi medici.

ICRP non raccomanda limiti di dose per esposizioni mediche

anche dopo la ICRP 60

Procedure diagnostiche e terapeutiche che implicano esposizione dell'addome di donna i gravidanza sono da evitarsi a meno che fortemente indicate da un punto di vista clinico.

3) ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE

Il controllo della esposizione della popolazione è esercitato dalla applicazione dei controlli alle sorgenti attraverso l'ottimizzazione più che dall'ambiente.

E' conveniente pensare a gruppo omogenei di individui rispetto all'esposizione ad una singola sorgente. Il gruppo critico consiste nel gruppo dei più esposti e il vincolo di dose è applicato alla dose media in questo gruppo derivante dalla sorgente per la quale si sta ottimizzando la protezione.

3) ESPOSIZIONE DELLA POPOLAZIONE

Il controllo della esposizione della popolazione è esercitato dalla applicazione dei controlli alle sorgenti attraverso l'ottimizzazione più che dall'ambiente.

E' conveniente pensare a gruppo omogenei di individui rispetto all'esposizione ad una singola sorgente. Il gruppo critico consiste nel gruppo dei più esposti e il vincolo di dose è applicato alla dose media in questo gruppo derivante dalla sorgente per la quale si sta ottimizzando la protezione.

I limiti di dose si riferiscono a dosi che risultano da pratiche e sono escluse le dose legate a forme di intervento. Radon nelle abitazioni o all'aperto, materiali radioattivi naturali o artificiali già nell'ambiente costituiscono situazioni che possono essere influenzate solo da intervento e quindi **non rientrano negli scopi dei limiti di dose per la popolazione**

ESPOSIZIONE POTENZIALI

Non tutte le esposizioni avvengono secondo quanto previsto. Rispetto a quanto previsto si può andare a definire la probabilità di evento accidentale **anche se non in dettaglio. Il concetto di detrimento individuale e collettivo deve essere esteso per tener conto di esposizioni potenziali. Per probabilità di accadimento elevata allora sarà necessario assumere che venga assorbita dose che consegue da questo tipo di evento.** Alle esposizioni potenziali **non si applicano i limiti di dose** ma si parla di limiti di rischio.

Le esposizioni potenziali conducono a due obiettivi:- prevenire (ridurre la probabilità di sequenza degli eventi) **e mitigare** (ridurre l'esposizione in caso di evento**). Pensare di ridurre le conseguenze di sequenze di incidenti in modo tale da non richiedere interventi.**

QUESTIONI ETICHE NELLA PROTEZIONE RADIOLOGICA

- **non sono semplici**
- **l'approccio non è unilaterale**



UNESCO IAEA

molti sforzi per la protezione di uomo e ambiente dalle radiazioni ionizzanti

Universal Declaration of Human Rights

Adopted and proclaimed by General Assembly resolution 217 A (III) of 10 December 1948

Articolo 3

Ogni individuo ha diritto alla vita, alla libertà ed alla sicurezza della propria persona.

Questioni etiche in RP, cresce l'interesse

- incidente di Chernobyl
- smaltimenti rifiuti radioattivi

Principi etici per la RP

- di interesse da parte di ICRP fino dal 1928

moralis *ethicos*

Morale - insieme di regole morali che pongono i confini dei comportamenti accettabili **in una società. Queste regole definendo** cosa si deve o dovrebbe fare **formano il codice morale sul quale vive una società.**

Etica - invece è vista come la riflessione consapevole sui credo morali **ove si intenda raffinali o estenderli, nel caso in cui non siano sufficienti, ad es.** per affrontare situazioni nuove che si sono create.

Su quali basi etiche poggiano le nostre scelte morali ?

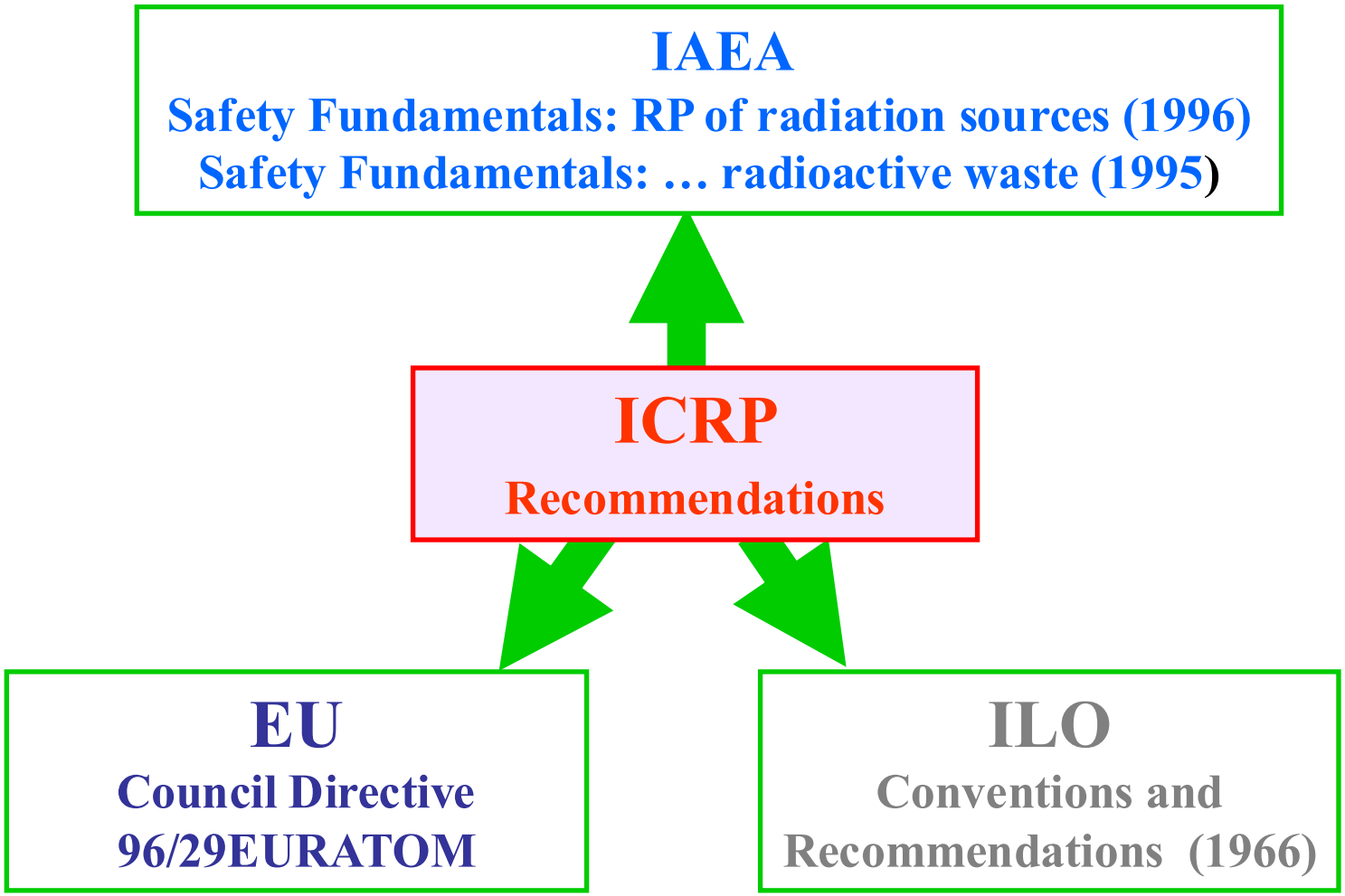
SI DISTINGUONO DIVERSE CATEGORIE

- **Etica normativa**- informazioni razionali su come dobbiamo comportarci
- **Etica descrittiva**- etnoetica
- **Etica analitica** - analisi di concetti etici rispetto al comportamento
- **Etica religiosa** - dottrine su basi religiose

NE DERIVANO DIVERSE TEORIE ETICHE

del dovere, dei diritti, della giustizia, della coscienza, utilitarista, egalitaria, del comando divino . . . . . .

STANDARDS INTERNAZIONALI RADIOPROTEZIONE



ICRP 60, raccomandazione 1991

I TRE PRINCIPI

- **GIUSTIFICAZIONE**
- **OTTIMIZZAZIONE**
- **LIMITAZIONE DOSI**

- non applicare i limiti a esposizioni mediche ;
- indicato implicitamente il “principio di sostituzione”;
- usato implicitamente il “principio cautelativo” adottando l’ipotesi lineare senza soglia LNT per gli effetti stocastici;

IAEA Safety Fundamentals

IAEA, Safety fundamentals: radiation protection and the safety of radiation sources. Vienna IAEA Safety Series N. 120, 1996.

Due obiettivi specifici

Protezione- prevenire effetti deterministici in individui mantenendo la dose sotto soglia e assicurare *tutti i ragionevoli sforzi per ridurre effetti stocastici* nella popolazione al presente e nel futuro.

Sicurezza- proteggere gli individui, la società, l'ambiente stabilendo e mantenendo difese efficaci contro i rischi radiologici da sorgenti.

Questi obiettivi sono perseguiti attraverso 11 principi

IAEA, Safety fundamentals: the principles of *radioactive waste management*. Vienna IAEA Safety Series N. 111, 1995.

Gli obiettivi specifici di protezione e sicurezza in riferimento alla gestione dei rifiuti radioattivi sono perseguiti attraverso 9 principi.

IAEA, Safety fundamentals: the safety of *nuclear installations*. Vienna IAEA Safety Series N. 110, 1993.

Tre obiettivi specifici

Sicurezza nucleare generale- proteggere individui società e ambiente…

Protezione dalle radiazioni- assicurare osservanza limiti, ALARA e riduzione conseguenze da incidenti

Sicurezza tecnica- prevenire incidenti

UNIONE EUROPEA
-Protezione di lavoratori e popolazione

Council Directive 96/29 Euratom, 13 May 1996 laying down the basic standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation. Official Journal of the European Communities; Legislation L 159, 39, 1996.

UNIONE EUROPEA
-Protezione di individui in medicina

Council Directive 97/43 Euratom, 13 June 1997 on health protection of individuals against the dangers arising of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. Official Journal of the European Communities; Legislation L 180, 22, 1997.

Sulla base di ICRP 103, 2007

UNIONE EUROPEA
Protezione esposizione radiazioni ionizzanti

DIRETTIVA 2013/59/EURATOM DEL CONSIGLIO
del 5 dicembre 2013

che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom

Direttiva 89/618/Euratom concernente l'informazione della popolazione sui provvedimenti di protezione sanitaria applicabili e sul comportamento da adottare in caso di emergenza radioattiva.

Direttiva 90/641/Euratom concernente la protezione operativa dei lavoratori esterni esposti al rischio di radiazioni ionizzanti nel corso del loro intervento in zona controllata

Direttiva 2003/122/Euratom sul controllo delle sorgenti radioattive sigillate ad alta attività e delle sorgenti orfane

La protezione dalle radiazioni ionizzanti si inserisce in questioni etiche più ampie che si riferiscono a:

salute,

ambiente,

economia,

sociologia,

legislazione

mondo del lavoro.

Etica normativa

Etica analitica

Etica descrittiva

E
T
I
C
A

ETICA MEDICA
esposizione
diagnostica/terapia
sperimetazione

CODICE DI COMPORTAMENTO

Valori etici nelle raccomandazioni ICRP

Protezione

Radiazioni

Ionizzanti

ETICA ED ESPERIMENTI SULL'UOMO CON RADIAZIONI

IAEA, 1996 ha precisato che l'esposizione di soggetti per la ricerca medica non è giustificabile a meno che sia:

-in accordo con la Dichiarazione di Helsinki e segua le linee guida preparate dal Consiglio dell'Organizzazione Internazionale delle Scienze Mediche e dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO), e

-soggetta alle indicazioni del Comitato Etico e ai regolamenti nazionali e locali.

EU, 1997 include i regolamenti per volontari (sani o pazienti) che partecipano in programmi di ricerca di diagnostica/terapia medica o biomedica.

ETICA ED ESPERIMENTI SULL'UOMO CON RADIAZIONI

Una raccolta (Mossman 1995) degli esperimenti con radiazioni effettuati in USA durante la Cold War ha messo in evidenza una serie di questioni:

- ***E' appropriato giudicare** passate investigazioni **scientifiche alla luce degli attuali standards, quando questi studi sono stati condotti in un clima politico diverso ?***

- ***E' eseguito in modo adeguato il** processo di consenso informato **?***

- ***Sono adeguati i regolamenti e controlli per la protezione dei** soggetti che partecipano alla ricerca **?***

CODICI DI ETICA PROFESSIONALE

Health Physics Society (HPS) americana ha prodotto un codice etico, già nel 1994, come guida per i suoi membri.

Executive Council IRPA ha proposto nel 1999 la stesura di un codice per i membri IRPA con stesura della prima bozza nel giugno 2002 e revisione nell'ottobre 2003.

Code of Ethics for the Members of the Health Physics Society

These principles are intended to aid members of the Health Physics Society, individually and collectively, in maintaining a professional level of ethical conduct. They are intended as guidelines by which members may determine the propriety of their conduct in relationships with employers, coworkers, clients, governmental agencies, with members of other professions, and with the public.

- **Members of the Society shall give support to the objectives of the Health Physics Society.**

- **Members shall strive to improve their professional knowledge and skill.**

- **Each member shall be a judge of his/her competence and will not undertake any assignment beyond his/her abilities.**

- **all relations with employers, coworkers, clients, governmental agencies, and the general public shall be based upon and shall reflect the highest standard of integrity and fairness.**

- **Members shall never compromise public welfare and safety in favor of an employer's interest.**

- **No employment or consultation shall be undertaken which is contrary to law or the public welfare.**

- **Members will gladly accept every opportunity to increase public understanding of radiation protection and the objectives of the Society.**

- **Professional statements made by members shall have sound scientific basis. Sensational and unwarranted statements of others concerning radiation and radiation protection shall be corrected, when practical.**

- **Members shall protect the sources of confidential communications, provided that such protection is not itself unethical or illegal.**

Web site:http://www.srp-uk.org/irpaethics

International Radiation Protection Association

ethics forum

A forum for members of IRPA to review all relevant existing codes and to develop a set of principles that could serve as a Code of Ethics for IRPA societies which they could adapt to their own specific situations. Open until 28 May 2004.



Introduction by Geoff Webb, President

- IRPA Code of Ethics (Draft 2 October 2003)
- IRPA Code of Ethics (Draft 1 June 2002)
- Discussion at IRPA 10 Congress
- IRPA 11 Congress, Madrid, May 2004 SEPR site
- Ethical Problems in Radiation Protection Kristin Shrader-Frechette and Lars Persson, 2001, SSI report (pdf 370KB)
- Ethical issues in RP: workshop, Stockholm, 1999, SSI report (pdf 200KB)
- On ethical issues in radiation protection Lars Persson. (1996) Icelandic Society site

Codes of ethics

Australasian Society
Canadian Society
IRPA
UK Society
USA Society
ICOH code

IRPA Code of Ethics

These principles are intended to aid members of IRPA Associate Societies in maintaining a professional level of ethical conduct related to radiation protection. They are to be regarded as guidelines. Members of Societies may use them to determine the propriety of their conduct in all relationships in which they are exercising their professional expertise. Associate Societies are encouraged to adopt or incorporate them as appropriate. If there is reason to believe that a member has breached this Code of Ethics, the Society to which the member belongs is expected to investigate and take appropriate measures.

1. Members shall exercise their professional skill and judgement to the best of their ability and carry out their responsibilities with integrity.

2. Members shall not allow conflict of interest, management pressures or possible self-interest to compromise their professional judgement and advice. In particular members shall not compromise public welfare and safety in favour of an employer's interest.

3. Members shall not undertake any employment or consultation that is contrary to the public welfare or to the law.

4. Members shall protect the confidentiality of information obtained during the course of their professional duties, provided that such protection is not in itself unethical or illegal.

approvato a Madrid, IRPA11 - 2004

5. Members shall ensure that relations with interested parties, other professionals and the general public are based on, and reflect, the highest standards of integrity, professionalism and fairness.

6. Members should satisfy themselves as to the extent and content of the professional functions required in any particular circumstances, especially those involving the public safety. Members should not undertake professional obligations that they are not qualified, or do not believe themselves to be competent, to carry out.

7. Members should take all reasonable steps to ensure that persons carrying out work done under their supervision or direction are competent, and not under undue pressure from workload or other causes.

8. Members should strive to improve their own professional knowledge, skill and competence.

9. Professional reports, statements, publications or advice produced by members should be based on sound radiation protection principles and science, be accurate to the best of their knowledge and be appropriately attributed.

10. Members should, whenever practicable and appropriate, correct misleading, sensational and unwarranted statements by others concerning radiation and radiation protection.

11. Members should take advantage of opportunities to increase public understanding of radiation protection and of the aims and objectives of IRPA and their own Society.

IRPA. May 2004

approvato a Madrid, IRPA11

Codice Deontologico

Dell'Associazione Italiana di Fisica Medica

www.fisicamedica.org/aifm/02_statuto_regolamenti/2008_Codice_Deontologico_AIFM.pdf

PREMESSA

Lo "specialista in fisica medica" è tenuto alla conoscenza degli articoli del presente Codice Deontologico Professionale, l'ignoranza dei medesimi non lo esime dalle sue responsabilità.

Il Codice Deontologico dello "specialista in fisica medica" non stabilisce un manuale tecnico del lecito, ma identifica una condizione condivisa di discernimento etico della professione perché nella pratica scientifica si realizzino le condizioni di un continuo progresso proiettato verso il bene e la promozione della società umana. Il fulcro che rende forza a questo processo e garantisce che non sia invalidante per l'umanità stessa, è la centralità della persona umana, valore fondamentale non barattabile con nessun' altra forma di interesse personale o collettivo.

Ogni azione contraria alle regole del presente Codice ed ogni omissione delle stesse è rinviata al giudizio della Collegio dei Probiviri.

Lo "specialista in fisica medica" farà riferimento alle norme del presente Codice in ogni situazione lavorativa, qualunque sia la sua posizione gerarchica e la natura del suo rapporto di lavoro. In tal senso lo "specialista in fisica medica" non può accettare condizioni di lavoro che compromettano la sua autonomia professionale e il rispetto di tali norme.

L'autonomia professionale rende lo "specialista in fisica medica" responsabile della scelta dei metodi e delle tecniche da utilizzare per la sua attività, della loro applicazione ed uso, dei risultati e delle valutazioni ed interpretazioni che ne ricava.

Inoltre lo "specialista in fisica medica" si impegna a divulgare le regole del Codice Deontologico Professionale a vantaggio proprio e dei colleghi per garantire l'autonomia, l'indipendenza e la dignità della Professione.

Si intende stabilire con il presente Codice il riferimento etico per la professione dello "specialista in fisica medica" annullando ogni regolamentazione di ordine etico – professionale precedentemente in vigore per gli "specialisti in fisica medica". Il Codice viene presentato nella sua versione n. 0 essendo suscettibile ad integrazioni periodiche ad opera del Gruppo di Lavoro di Bioetica, AIFM.

Il Codice Deontologico degli "specialisti in fisica medica" entrerà in vigore subito dopo l'approvazione da parte dell'assemblea dei Soci[1].

[1] L'approvazione è avvenuta durante l'Assemblea dei Soci del 19 settembre 2007

RIFLESSIONE SUI VALORI ETICI NEL SISTEMA DI RADIOPROTEZIONE

G.Silini, 1992, ***Sievert lecture-Ethical issues in radiation protection*, Health Physics.**

ICRP 91, 2003, ***A frame for assessing the Impact of ionising radiation on non-human species*.**

SSI-Report 2000, 2001, ***Ethical issues in radiation protection*.**

L.Persson, K.Shrader-Frechette, 2001, ***An evaluation of the ethical principles of the ICRP's radiation protection standards for workers*, Health Physics**.

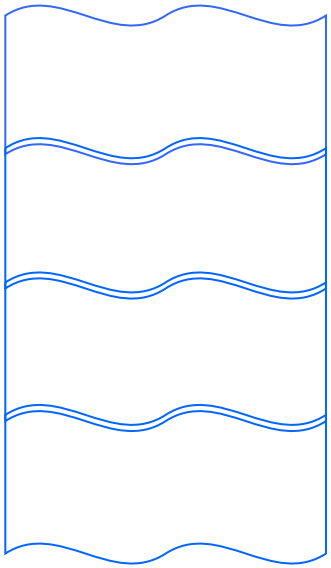
K. Shrader-Frechette, L.Persson, 2002, ***Ethical, logical and scientific problems with thee new ICRP proposals,* J.Radiol. Prot**.

SCK•CEN, Report 2003, ***Reflections on ethical choices in radiation protection-in search of precaution*.**

Bo Lindell, 2001, ***Logic and ethics in radiation protection*, J. Radiol. Prot.**

ALARA

ipotesi LNT



PRINCIPIO DI PRECAUZIONE

… agire per evitare possibili danni anche prima che sia stabilito un legame causale con le conseguenze dannose -

Principio Precauzione in situazioni d'incertezza ?
Minimizzare i falsi negativi ?

Es. test diagnostico "negativo" → probabilmente sano.
Questo "probabilmente" potrebbe corrispondere ad un falso negativo, ovvero il soggetto risulta erroneamente sano.

ICRP Recommendations basate su etica utilitarista.??

Ma dal 1990 sviluppi sociali verso maggiore apertura, trasparenza e verso attenzione all' individuo che non possono essere disattesi.

EFFICIENZA / EQUITA'

principio di giustificazione

analisi costi-benefici

accetta scambio benefici società per esposizioni individuali

ETICA UTILITARISTA

ETICA EGALITARIA

diritto a uguale trattamento, protezione

sulla base dei diritti umani, sono giustificati interventi di protezione sui singoli anche se richiedono costi economici, che possono essere considerevoli

EFFICIENZA / EQUITA'

IAEA, 1996 esplicitamente propone standards di **etica egalitaria** e sancisce il trattamento delle *generazioni future in modo uguale a quelle presenti .*

Non è però chiaro se le raccomandazioni ICRP e IAEA risultino effettivamente in una equità nello spazio e nel tempo.

Es. Depositi permanenti pongono la questione del rischio per le generazioni future (tossicità radiologica e chimica) che viola l'equità temporale.

⟹ imporre rischio alle generazioni future per soddisfare i fini della generazione presente.

NOTA:
L'idea stessa di giustizia-legge presuppone uguali diritti.

EFFICIENZA / EQUITA'

ETICA

EQUALITARIA

Se non vi è obbligo di rendere equi i rischi imposti a una generazione o a un segmento di società per il beneficio di un'altra generazione o segmento, non vi è autentica sicurezza.

IMPOSSIBILE trattare tutti esattamente nello stesso modo a causa di numerosi fattori (merito, compensazione, incenti - vazione, necessità) **ma devono esistere rilevanti basi morali** per sostenere un trattamento differente.

- Tener conto di variabilità del danno stocastico fra i membri della popolazione, suscettibilità al cancro non uniforme.
- Evitare possibile pressione economica nel definire ragionevole o meno le differenze di dose.

EFFICIENZA / EQUITA'

ETICA

UTILITARISTA

Si richiamano i concetti di **utilità, efficienza, del bene comune,** della impraticabilità di una protezione assolutamente equa.

Es. US Advisory Committee on Human Radiation Experiments, 1994, argomenta che per *gli esposti a esperimenti con radiazione vi sono rischi indotti dagli esperimenti.* L'informazione e la compensazione per piccoli rischi potrebbe essere un costo per la società.

NOTA l'argomentazione: fintanto che gli standards richiederanno di mantenere le differenze di dose a livelli "ragionevoli" piuttosto che richiedere di abbassarle, e non si tenderà a definire compensazioni per i casi di esposizioni elevate, non verrà promossa l'equità.

EFFICIENZA / EQUITA'

Disputa fra ETICA EGALITARIA E UTILITARISTA

POSSIBILE ALTERNATIVA

- **Uno schema di compensazione nel caso di imposizione di rischi da radiazioni inevitabili.**
- **COMPENSAZIONE**
- **CONSENSO**
- **Restrizione degli standards**

ECONOMIA / SALUTE

principio di ottimizzazione-ALARA

tiene conto di fattori economici e sociali

a correzione di costi non ragionevoli

ETICA UTILITARISTA

ETICA EGALITARIA

sostiene la salute come priorità

suggerisce la valutazione economica più completa che tenga conto di compensazioni

BENEFICI DELLA SOCIETA' / DIRITTI INDIVIDUALI

ETICA UTILITARISTA

il rischio zero non realistico

la popolazione accetta rischi anche maggiori

i piccoli rischi da r.i. sono da trascurare

ETICA EGALITARIA

contro ogni potenziale violazione dei diritti individuali

non ammette rischio imposto senza consenso e compenso

ALTRE QUESTIONI ETICHE

- I membri della popolazione devono dare consenso per dosi addizionali ?
- Deve essere mantenuto un doppio sistema di limitazione delle dosi fra lavoratori e membri della popolazione ?
- La popolazione eventualmente esposta deve ricevere una protezione a responsabilità piena che intervenga in caso di riparazioni, compensi ?
- E' veramente preso in considerazione il rischio imposto alle generazioni future ?

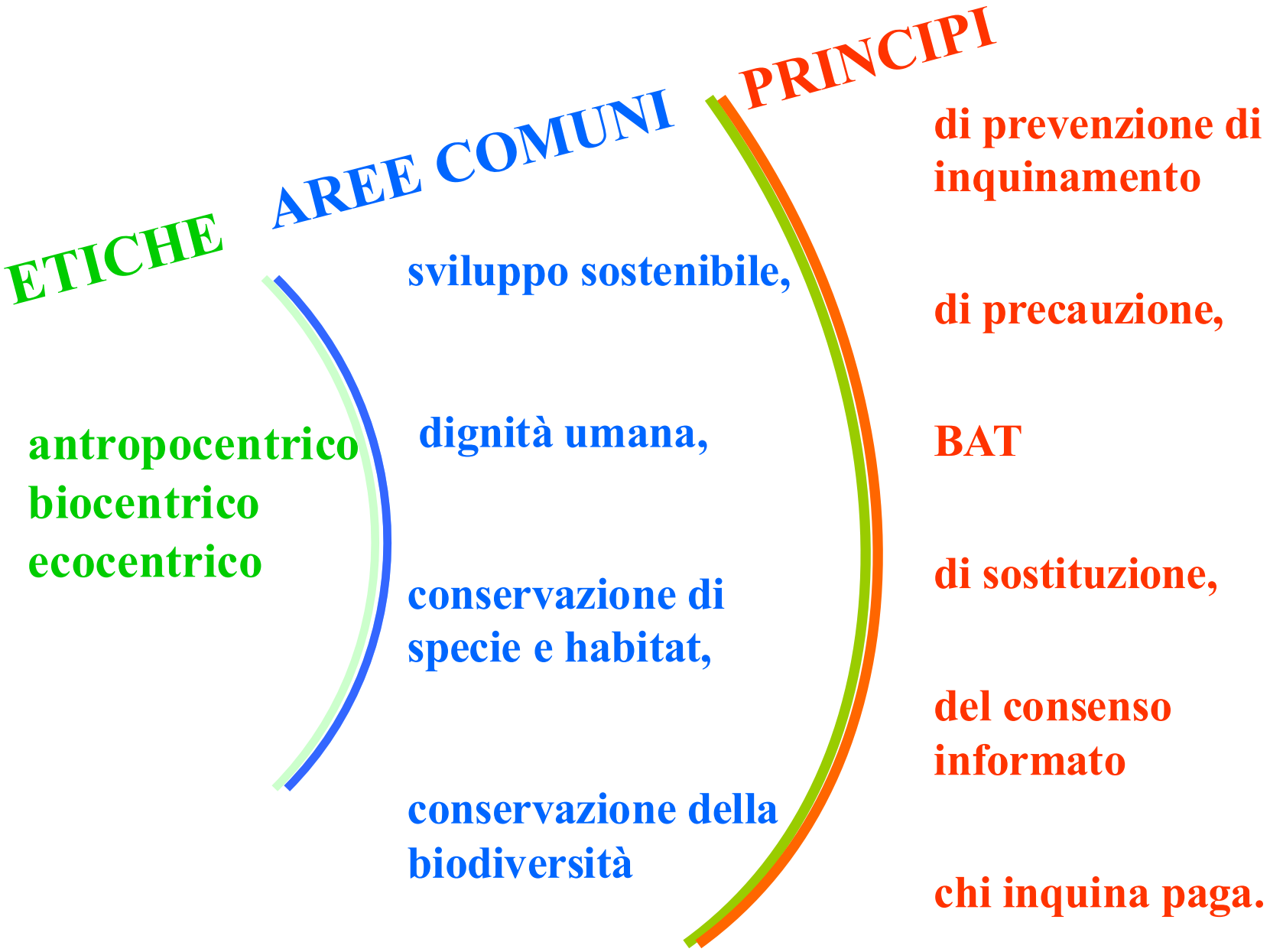
PROTEZIONE DEL BIOTA

se gli esseri umani sono adeguatamente protetti le altre specie non verranno poste a rischio -

ICRP, 2003 ***A frame for assessing the Impact of ionising radiation on non-human species.***

IAEA, 2002 ***Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation.***

studiare un approccio per la protezioni su basi scientifiche e su principi etico-filosofici -


ETICHE
AREE COMUNI
PRINCIPI
antropocentrico
biocentrico
ecocentrico
sviluppo sostenibile,
dignità umana,
conservazione di specie e habitat,
conservazione della biodiversità
di prevenzione di inquinamento
di precauzione,
BAT
di sostituzione,
del consenso informato
chi inquina paga.


ETICHE
AREE COMUNI
PRINCIPI
antropocentrico
biocentrico
ecocentrico
Essere umano è ciò che è centrale nell' universo.
Tutti essere viventi hanno stessi diritti ad esistere.
Sviluppo sostenibile, preservare ecosistemi
sviluppo sostenibile,
dignità umana,
conservazione di specie e habitat,
conservazione della biodiversità
di prevenzione di inquinamento
di precauzione,
BAT
di sostituzione,
del consenso informato
chi inquina paga.

AREE DI CONSENSO

Possono le diverse culture e etiche, ognuna dal proprio punto di vista, sostenere uno stesso principio, al fine di un dibattito per una politica internazionale di protezione dell'ambiente ?

Il rapporto IAEA identifica 5 aree, assunte a "principi generali":



LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE DA RADIAZIONI IONIZZANTI SI FOCALIZZA SUL BIOTA

- **ICRP 91, 2003** ***A frame for assessing the Impact of ionising radiation on non-human species*.**
- **IAEA, 2002** ***Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation.***
- **ICRP DRAFT For Consultation, 2005** ***Recommenda -tions of the International Commission on Radiological Protection.***
- **ICRP DRAFT For Discussion, 2005** ***The Concept and Use of Reference Animals and Plants for the purposes of Environmental Protection.***

SVILUPPI dopo ICRP 60

E' RICONOSCIUTA :

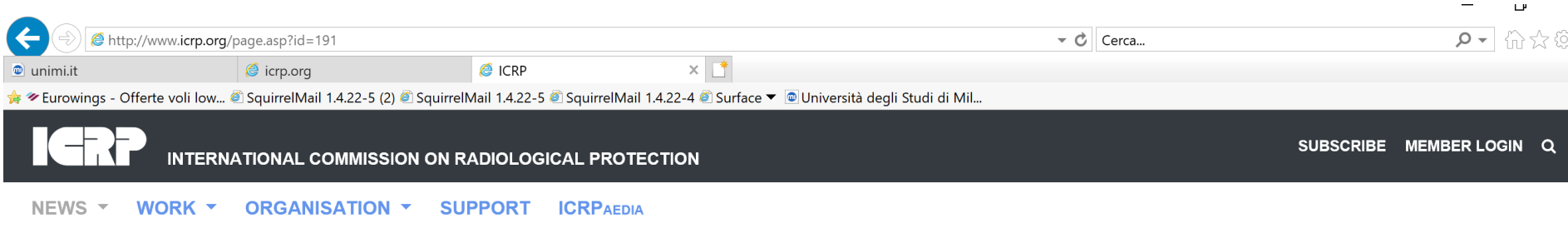
- La necessità di una protezione radiologica ambiente che sia compatibile con quella seguita per altri agenti inquinanti e risponda ad una armonizzazione internazionale.

- La necessità di studiare un approccio comune per la protezioni della specie umana e di specie non-umane su basi scientifiche e su principi etico-filosofici.

Ricorda anche che è nato un nuovo ambito di attenzione verso la protezione dell'ambiente

ICRP Committee 5- Protection of the Environment

http://www.icrp.org/page.asp?id=191



ICRP Initiative on the Ethics of Radiological Protection

2014-02-07

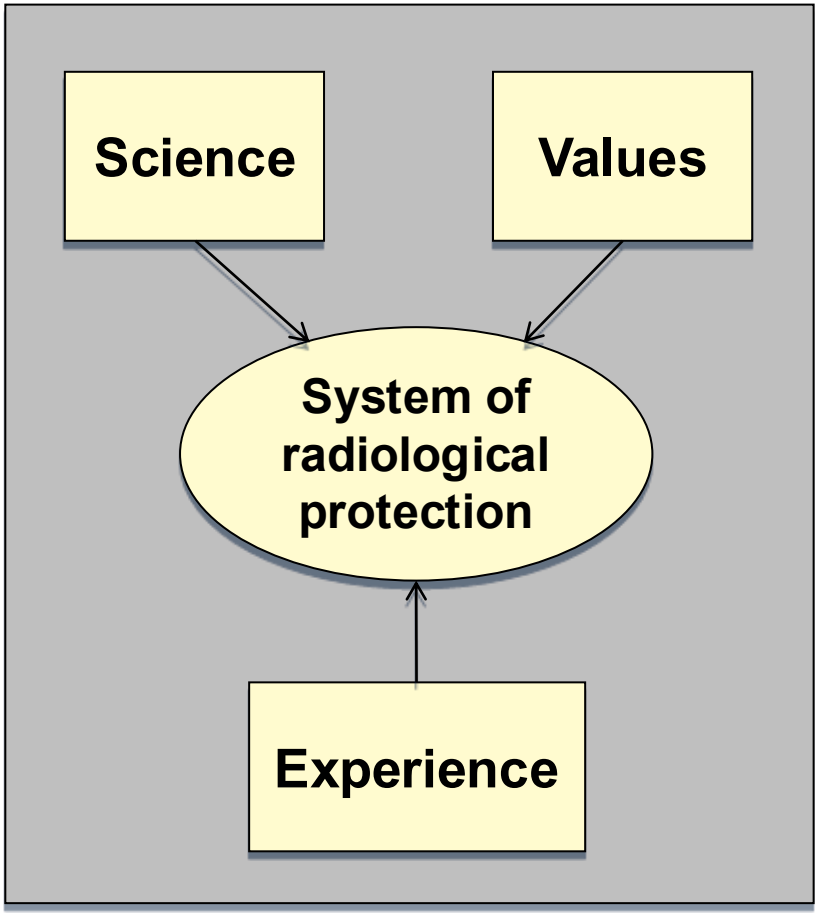
At the October 2012 meeting of the Main Commission in Fukushima City, Japan, ICRP began efforts to examine the ethical basis of the system of radiological protection. Led by now ICRP Vice-Chair Jacques Lochard, a key feature was to work in cooperation with professionals from other organisations.

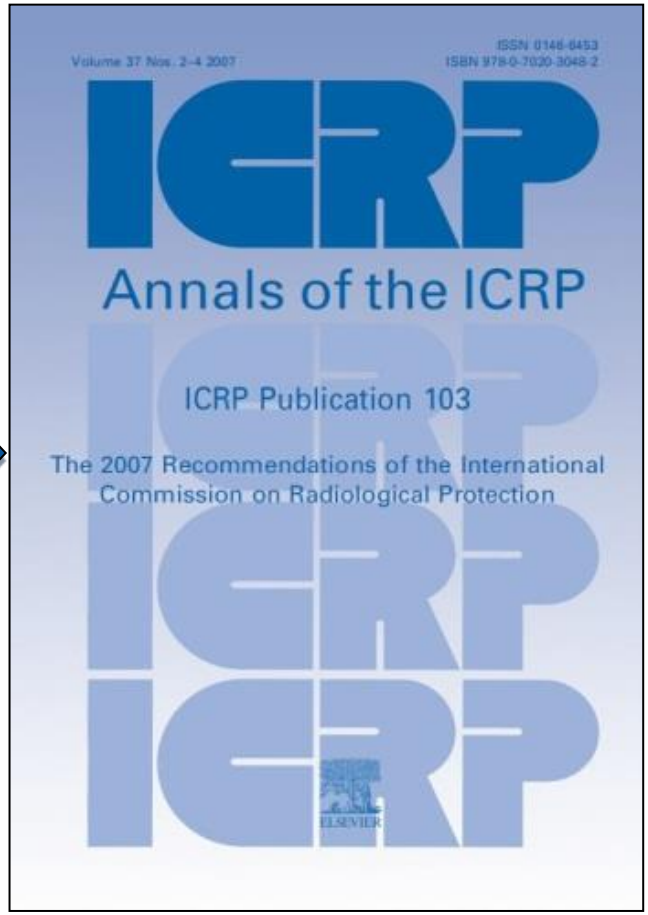
This has resulted in a series of workshops held in cooperation with ICRP and IRPA. The 1st Asian Workshop on the Ethical Dimensions of the Radiological Protection System was organized by the Korean Radiation Protection Association (KARP) in Daejeon, Korea in August 2013. The 1st European Workshop on the Ethical Dimensions of the Radiological Protection System was organized jointly by the Italian Association for Radiation Protection (AIRP) and the French Society for Radiation Protection (SFRP), and held in Milan, Italy in December 2013.

The 1st North American workshop in this series will be held in Baltimore, USA in July 2014, in cooperation with and immediately following the US Health Physics Society (HPS) Annual Meeting. Also feeding into the process will be the results from the Second International Symposium on Ethics of Environmental Health in Budweis, Czech Republic, organized by specialists in ethics in cooperation with OPERRA and with the participation of ICRP. A second round of workshops organized by radiation protection societies is envisaged later in 2014 and in 2015.

Meanwhile, ICRP Task Group 94 on Ethics of Radiological Protection was formed at the October 2013 meeting of the Main Commission in Abu Dhabi, UAE. Chaired Professor Deborah Oughton of the Norwegian University of Life Sciences, membership of this Task Group includes the lead organisers of the workshops noted above: Kun-Woo Cho of KARP, Marie-Claire Cantone of AIRP, Thierry Schneider of SFRP, Richard Toohey of HPS, and Friedo Zölzer, organiser of the Budweis symposium. TG94 will consolidate the findings from these workshops and other sources, with the objective to have an advanced draft publication for review and discussion at the time of IRPA-14 in May 2016.

The three pillars of the system of radiological protection





Borrowed from: Jacques Lochard

Publication 103

NOTA SU:

GRANDEZZE ED EFFETTI BIOLOGICI IN RADIOPROTEZIONE

GRANDEZZE E UNITA' DI MISURA

Esposizione X, descrive la capacità dei **raggi X di produrre ionizzazione in aria**. La grandezza è definita solo per radiazione incidente in aria con energia non superiore a 3 MeV.

$$\mathbf{X = dQ/dm}$$

dQ = carica totale degli ioni di un solo segno prodotti in aria quando tutte le cariche secondarie prodotte nella massa d'aria **dm** sono completamente fermati in aria.

Unità di misura di X nel S.I. è coulomb/chilogrammo (C/kg)

La vecchia unità di misura di X è il Roentgen (R).

$1\ R = 2.58 \times 10^{-4}\ C/kg$

1 Bq corrisponde a una disintegrazione al secondo

$1\ Ci = 3.7\ 10^{10}\ Bq$

Dose assorbita D, in un piccolo volume di materia di massa **dm** è data dal rapporto fra energia media ceduta **dE** in quel volume e la sua massa **dm**.

$$D = dE/dm$$

Unità di misura nel S.I. è joule / chilogrammo (J/kg) a cui viene dato il nome di gray (Gy) [1Gy= 1J/kg].

La vecchia unità di misura è il rad [1 rad = 100 erg/g] .

1 Gy = 100 rad

Intensità o rateo di dose assorbita D, è la variazione nel tempo della dose assorbita.

$$\dot{D} = dD/dt$$

Nel S.I. si misura in Gy/s ma spesso sono usati :
Gy/min e Gy/h

Dose equivalente H_{TR}, nel tessuto T dovuta alla radiazione R; è una grandezza dosimetrica che tiene conto delle **implicazioni biologiche** legate ai diversi tipi di esposizione.

La dose equivalente H_{TR}, (per il tessuto **T** e la radiazione **R**) è data dalla dose assorbita D_{TR}, nel tessuto **T** dalla radiazione **R**, moltiplicata per un **fattore di peso w_R** per la qualità della radiazione.

$$H_{TR} = w_R D_{TR}$$

L'unità di misura nel S.I. è joule/chilogrammo (J/kg) a cui viene dato il nome di sievert (Sv) [1Sv= 1J/kg].

La vecchia unità di misura è il rad [1 rem = 100 erg/g] . 1 Sv = 100 rem.

Quando la radiazione è composta di vari tipi o energie di radiazioni si ha:

$$H_T = \Sigma\, w_R\, D_{TR}$$

w_R- fattori di peso (di ponderazione) che si basano sul tipo e sulla qualità della radiazione, usati **a scopo radioprotezionistico** per tener conto degli effetti diversi indotti da radiazioni di tipo diverso. (w_R usati sia per irraggiamento esterno che interno).

Tipo radiazione e range energia	w_R
Fotoni, tutte le energie	1
Elettroni, tutte le energie	1
Particelle alfa Protoni, energie ……> 2 MeV Neutroni, energie …< 10 keV	20 5 5
Neutroni, energie 10→100 keV energie >100 keV → 2 MeV	10 20
Neutroni, energie >2→ 20 MeV	10
Neutroni, energie > 20 MeV	5

Dose efficace E, è la somma, estesa a tutti gli organi e tessuti, della dose equivalente dei singoli tessuti del corpo moltiplicata per i fattori di peso (ponderazione) tessutali w_T

$$E = \Sigma\, w_T\, H_T = \Sigma\, w_T \Sigma\, w_R\, D_{TR}$$

L'unità di misura nel **S.I. è joule / chilogrammo (J/kg)** a cui viene dato il nome **di sievert (Sv) [1Sv= 1J/kg].**

I fattori di peso (ponderazione) tissutali w_T sono usati a scopo radioprotezionistico per tener conto della **diversa sensibilità, dei vari organi o tessuti,** all'induzione di **effetti stocastici delle radiazioni**. **La somma dei fattori di peso tessutali è uguale a 1.**

Fattori di peso dei tessuti (ICRP Publ.60,1990)

w_T fattori di peso usati a scopo radioprotezionistico per tener conto della diversa sensibilità, dei vari organi o tessuti, all'induzione di effetti stocastici delle radiazioni. La somma dei fattori di peso tessutali è uguale a 1.

Fattori di peso tessutali (ICRP Publ. 60,1990) da utilizzarsi nella definizione della dose efficace per lavoratori, popolazione e entrambi i sessi.

Tessuto o organo	w_T
Gonadi	0.20
Midollo osseo	0.12
Colon	0.12
Polmone	0.12
Stomaco	0.12
Vescica	0.05
Mammella	0.05
Fegato	0.05
Esofago	0.05
Tiroide	0.05
Cute	0.01
Superf. Osso	0.01
T.Rimanenti	0.05

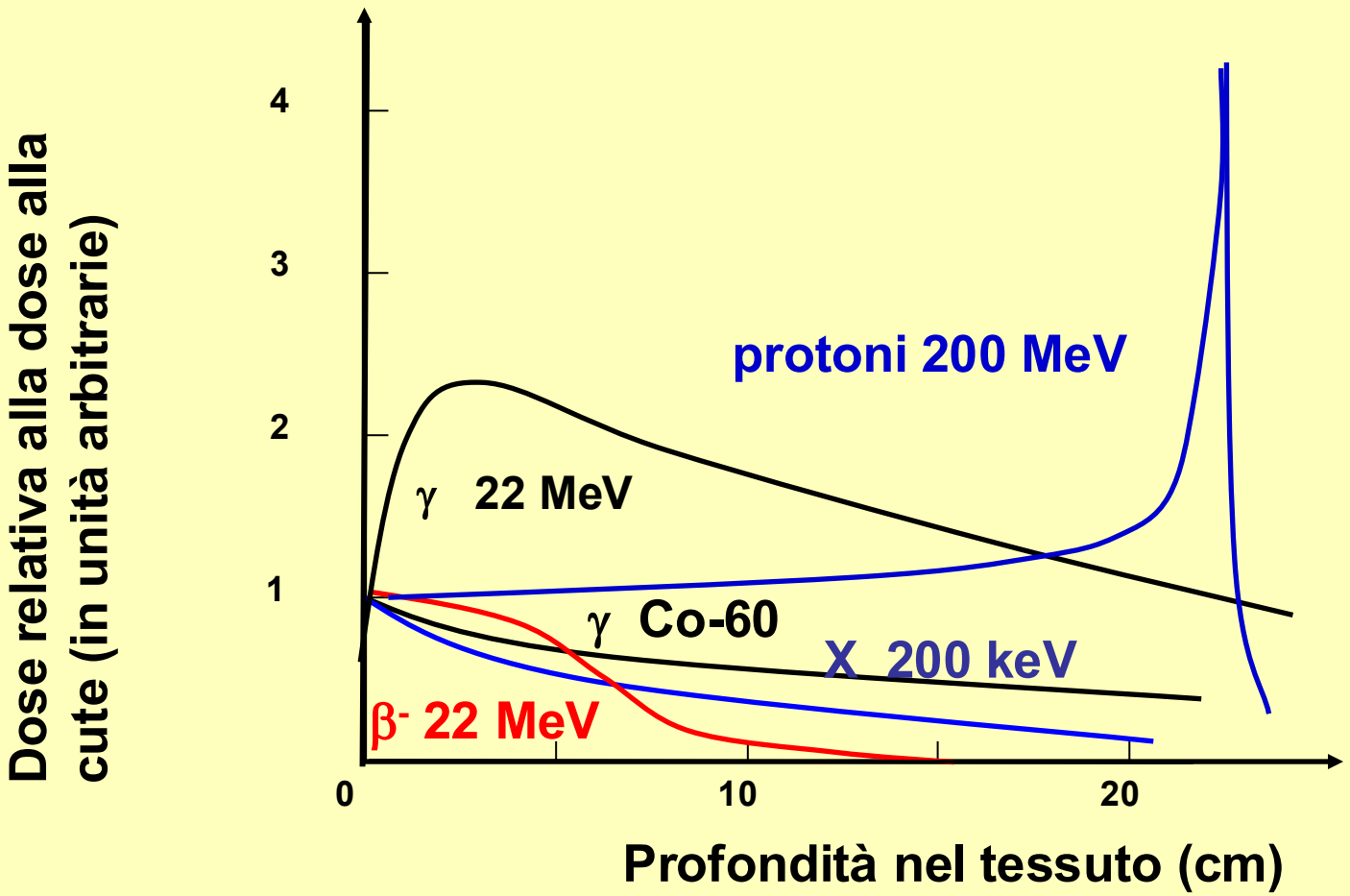
Dose equivalente impegnata $H_T(\tau)$, è **l'integrale sul tempo del rateo di dose equivalente in un organo o tessuto** dell'individuo che ha introdotto nel corpo il materiale radioattivo. Il periodo di integrazione per un individuo adulto è di 50 anni, per un bambino di 70 anni.

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} \dot{H}_T(t)dt$$

L'irraggiamento a seguito di radionuclidi incorporati continua nel tempo dopo l'introduzione della sostanza radioattiva (sia essa **ingerita**, **inalata** o **iniettata**), in dipendenza dalle sua forma fisico-chimica e dalla biocinetica.

Dose efficace impegnata $E(\tau)$, è la somma delle dosi equivalenti impegnate pesate per fattori tessutali. Unità di misura sievert (Sv)

$$E(\tau) = \Sigma\, W_T\, H_T(\tau)$$



Confronto della dose in profondità (rispetto alla dose in superficie) per diversi tipi di radiazione

EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

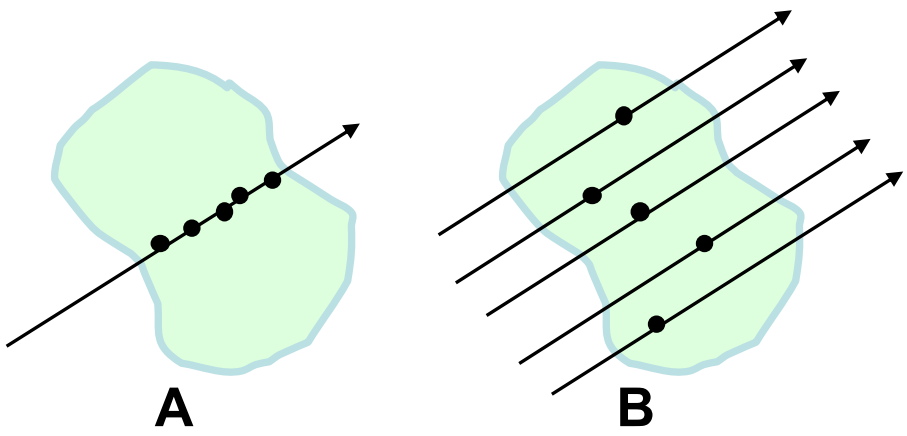
ICRP International Commission on Radiological Protection
ICRU Int. Comm. On Radiation Units and Measurements
IAEA Int. Atomic Energy Agency
UNSCEAR United Nations Scient. Comm. Effects of Atomic Radiat.

L'effetto biologico delle radiazioni ionizzanti dipende dalla dose assorbita e dalla qualità della radiazione. La dose assorbita permette di apprezzare l'energia media assorbita in un organo ma a livello microscopico l'energia è rilasciata in modo discontinuo e non omogeneo.

EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

ICRP International Commission on Radiological Protection
ICRU Int. Comm. On Radiation Units and Measurements
IAEA Int. Atomic Energy Agency
UNSCEAR United Nations Scient. Comm. Effects of Atomic Radiat.

L'effetto biologico delle radiazioni ionizzanti dipende dalla dose assorbita e dalla qualità della radiazione. La dose assorbita permette di apprezzare l'energia media assorbita in un organo ma a livello microscopico l'energia è rilasciata in modo discontinuo e non omogeneo.



elevata ionizzazione specifica

bassa ionizzazione specifica

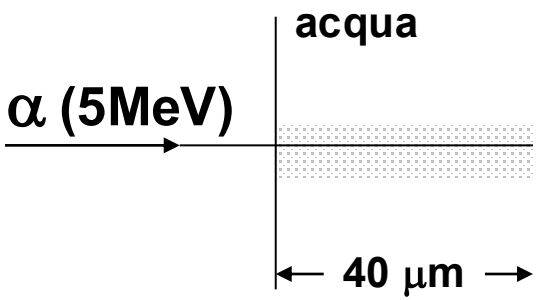
In figura è rappresentato uno stesso numero di eventi di ionizzazione e quindi una stessa dose in **A** e in **B**. **Per la diversa distribuzione spaziale** degli eventi, in A si ha una maggiore probabilità di interferenza reciproca di di due o più eventi.

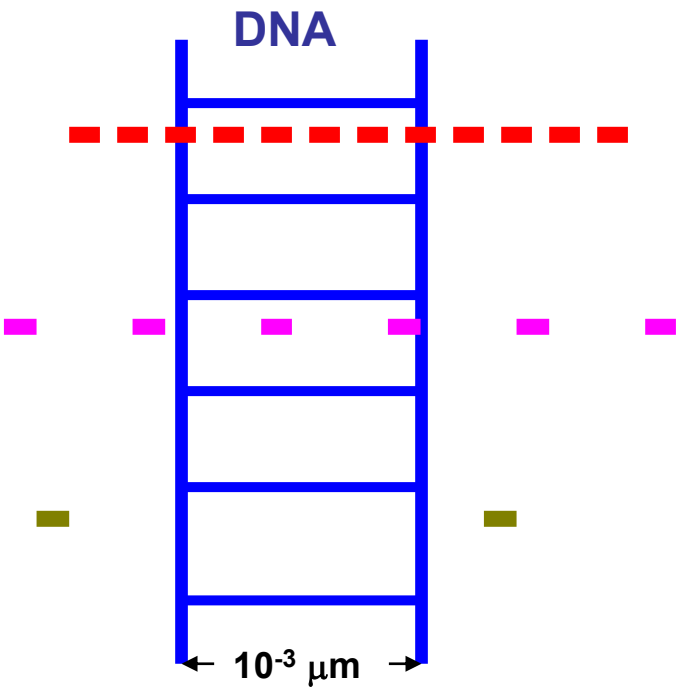
LET Linear Energy Transfer, Trasferimento Lineare di Energia

Il LET è l'energia depositata dalla singola particella lungo il suo percorso per unità di percorso. Si misura in J/m nel S.I. ma più spesso viene usato keV / μm. Il LET consente di caratterizzare la distribuzione dell'energia in rapporto a frequenza e distanza relativa tra loro degli eventi di ionizzazione lungo il percorso delle radiazioni (direttamento e indirettamente ionizzanti)

LET Linear Energy Transfer, Trasferimento Lineare di Energia

Il LET è l'energia depositata dalla singola particella lungo il suo percorso per unità di percorso. Si misura in J/m nel S.I. ma più spesso viene usato keV / μm. Il LET consente di caratterizzare la distribuzione dell'energia in rapporto a frequenza e distanza relativa tra loro degli eventi di ionizzazione lungo il percorso delle radiazioni (direttamento e indirettamente ionizzanti)



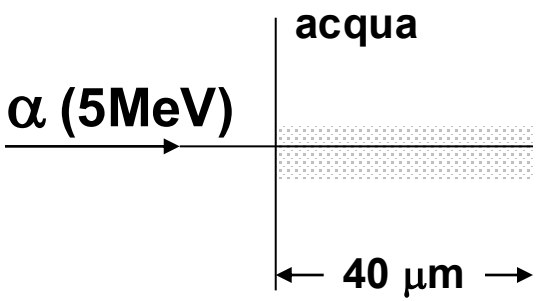


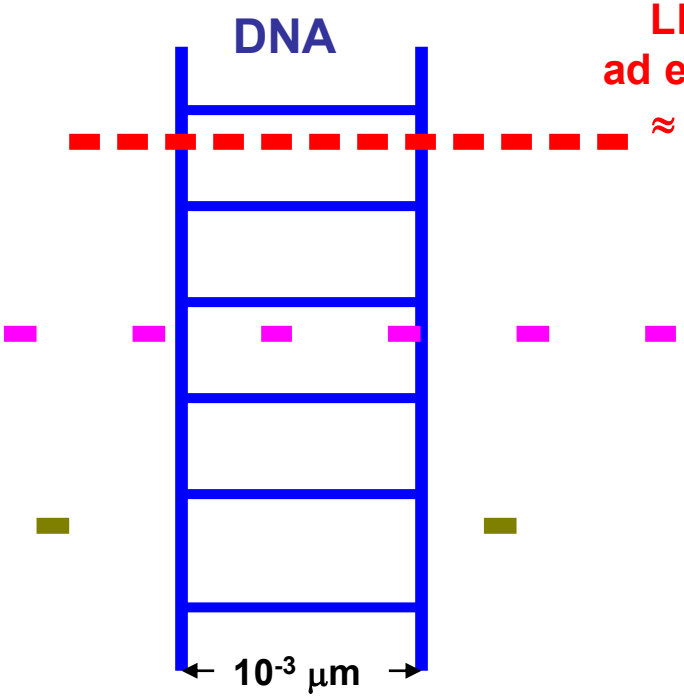
es. particella ad alto LET

La maggior parte dell' energia della particella α di 5 MeV è depositata entro 40 μm di percorso in acqua.

LET Linear Energy Transfer, Trasferimento Lineare di Energia

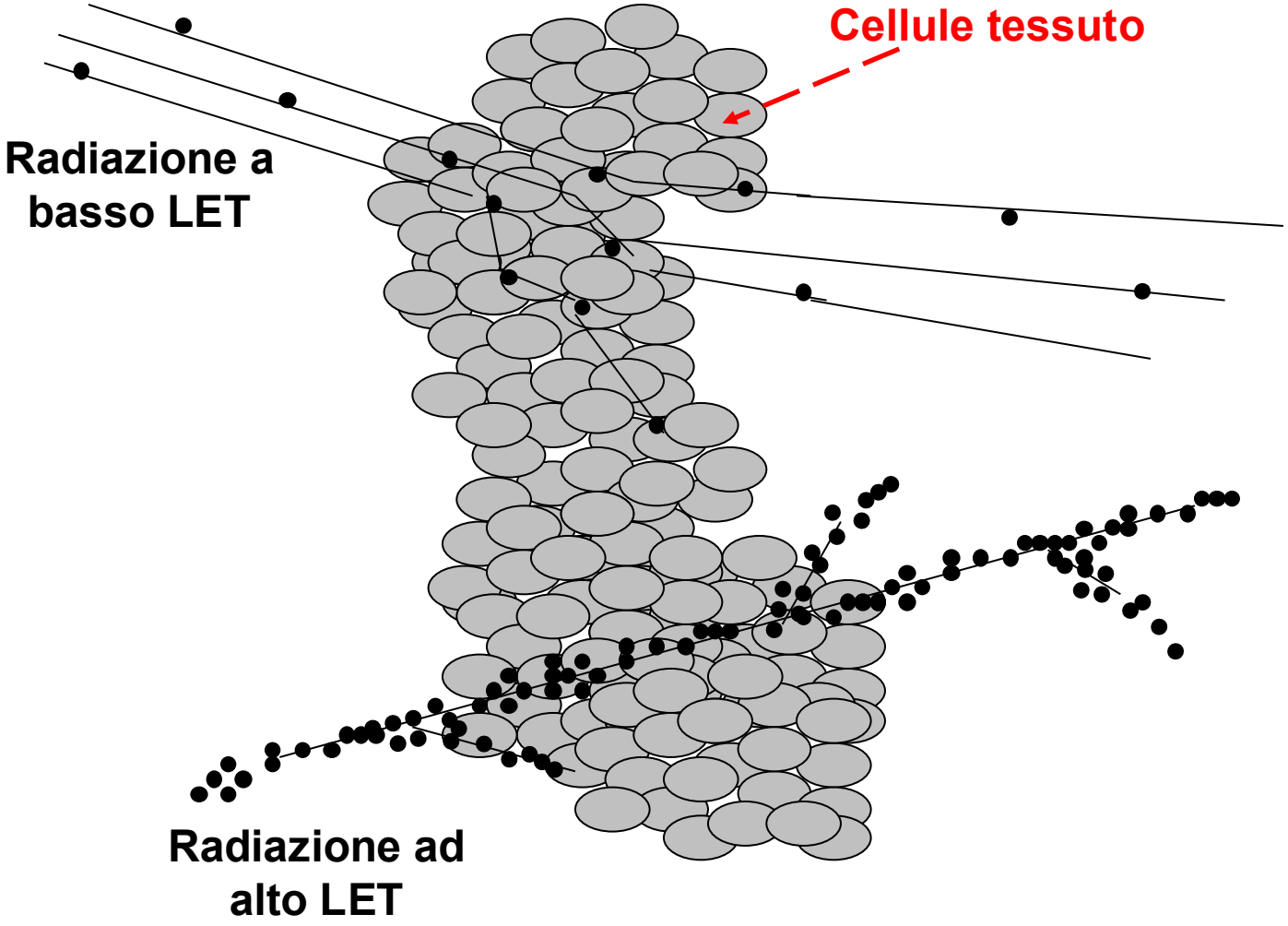
Il LET è l'energia depositata dalla singola particella lungo il suo percorso per unità di percorso. Si misura in J/m nel S.I. ma più spesso viene usato keV / μm. Il LET consente di caratterizzare la distribuzione dell'energia in rapporto a frequenza e distanza relativa tra loro degli eventi di ionizzazione lungo il percorso delle radiazioni (direttamento e indirettamente ionizzanti)





es. particella ad alto LET

La maggior parte dell' energia della particella α di 5 MeV è depositata entro 40 μm di percorso in acqua.


Cellule tessuto
Radiazione a basso LET
Radiazione ad alto LET

EFFETTI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Le radiazioni ionizzanti possono penetrare nel corpo umano anche a notevoli profondità. Nel loro percorso, a seguito della interazione con gli atomi che incontrano, cedono energia e possono portare alla formazione di ioni (cariche +, cariche -)

A seguito di *ionizzazione e eccitazione* **si induce la rottura di legami atomici e molecolari,** *si creano radicali liberi* **(come quelli prodotti da altri agenti o da normali processi cellulari dell'organismo). Ne possono conseguire** *modificazioni chimiche.*

La ***manifestazione biologica del danno****, che è geneticamente controllata, è il* ***risultato di tutti i processi a livello fisico e chimico.***

REAZIONI DI RADIOLISI DELL'ACQUA

La radiazione causa ionizzazione:

$H_2O \longrightarrow H_2O^+ + e^-$

Lo ione H_2O^+ si scinde in

H^+ : radicale idrogeno

OH^- : radicale idrossilico

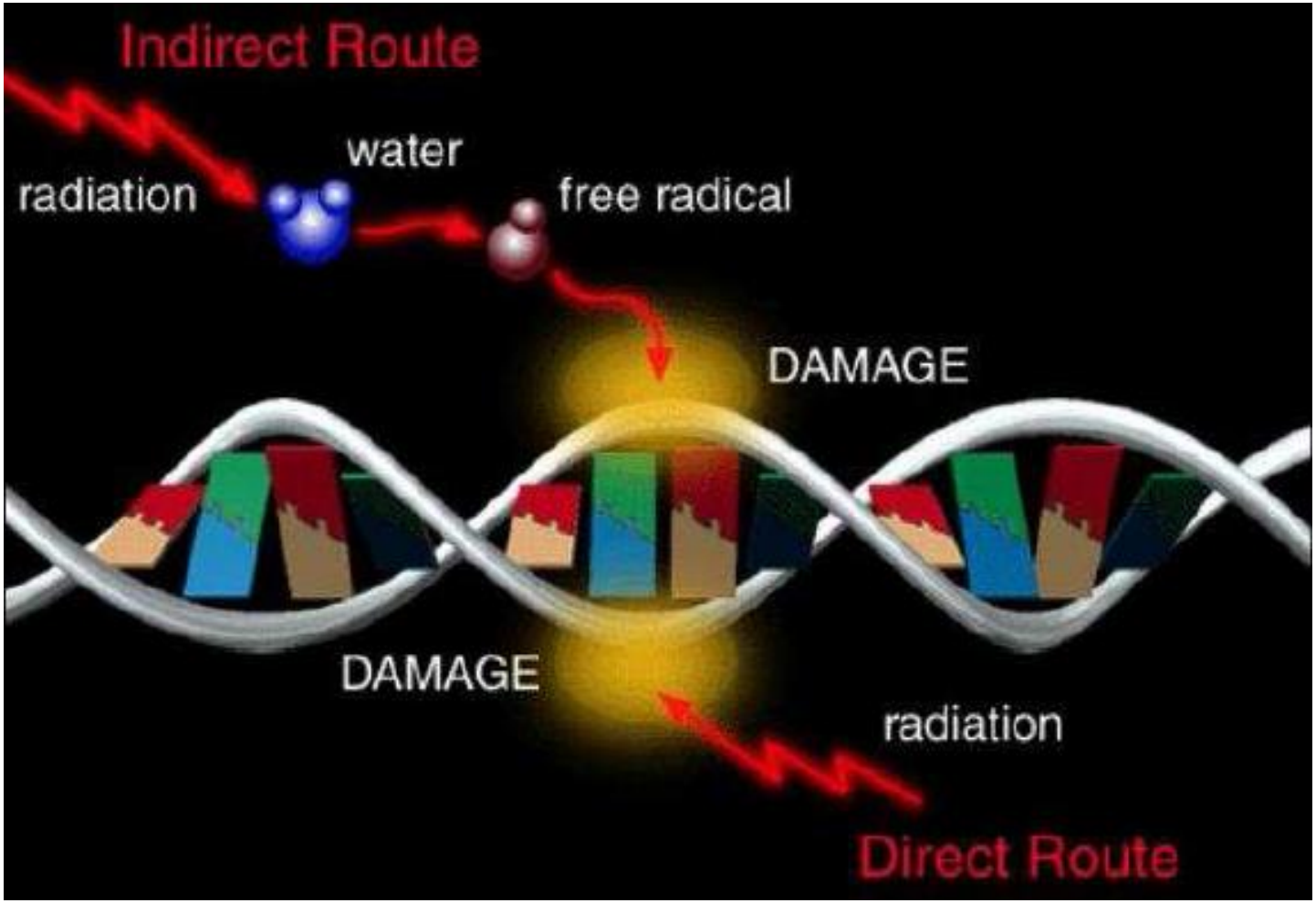
$H^+ + OH^-$

$H^+ + H^+ \longrightarrow H_2$

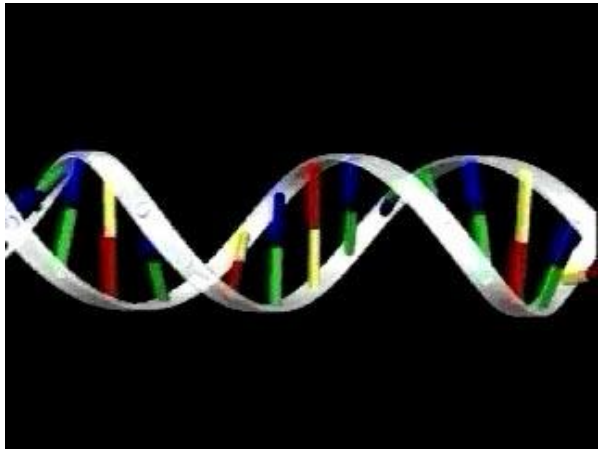
$OH^- + OH^- \longrightarrow H_2O_2$

Molto reattivo chimicamente

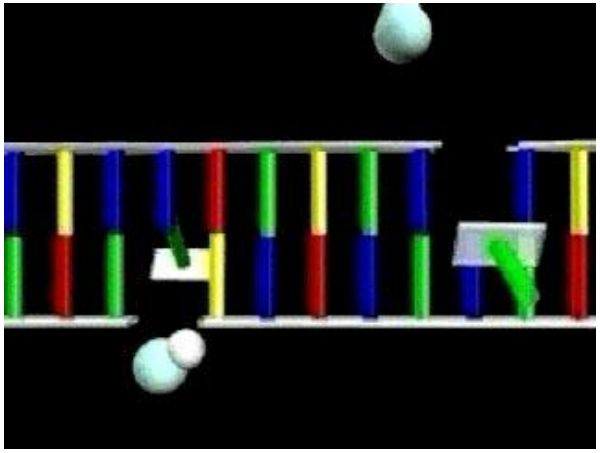
Dalla RADIOLISI dell'acqua si generano **radicali liberi** che reagiscono chimicamente con le macro-molecole organiche



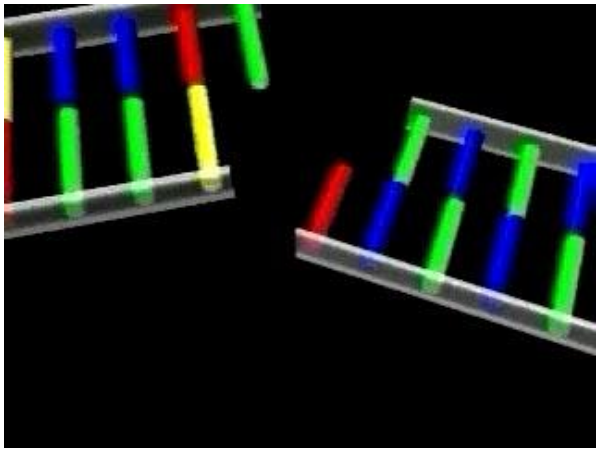
Il DNA è la struttura biologica più significativa e può subire modificazioni da parte della radiazione ionizzante per *azione diretta* e *azione indiretta* (che è quella prevalente).



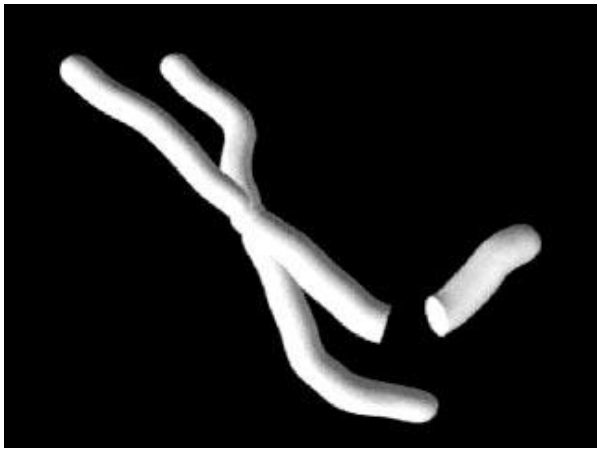
Doppia elica del DNA



Rottura di un filamento



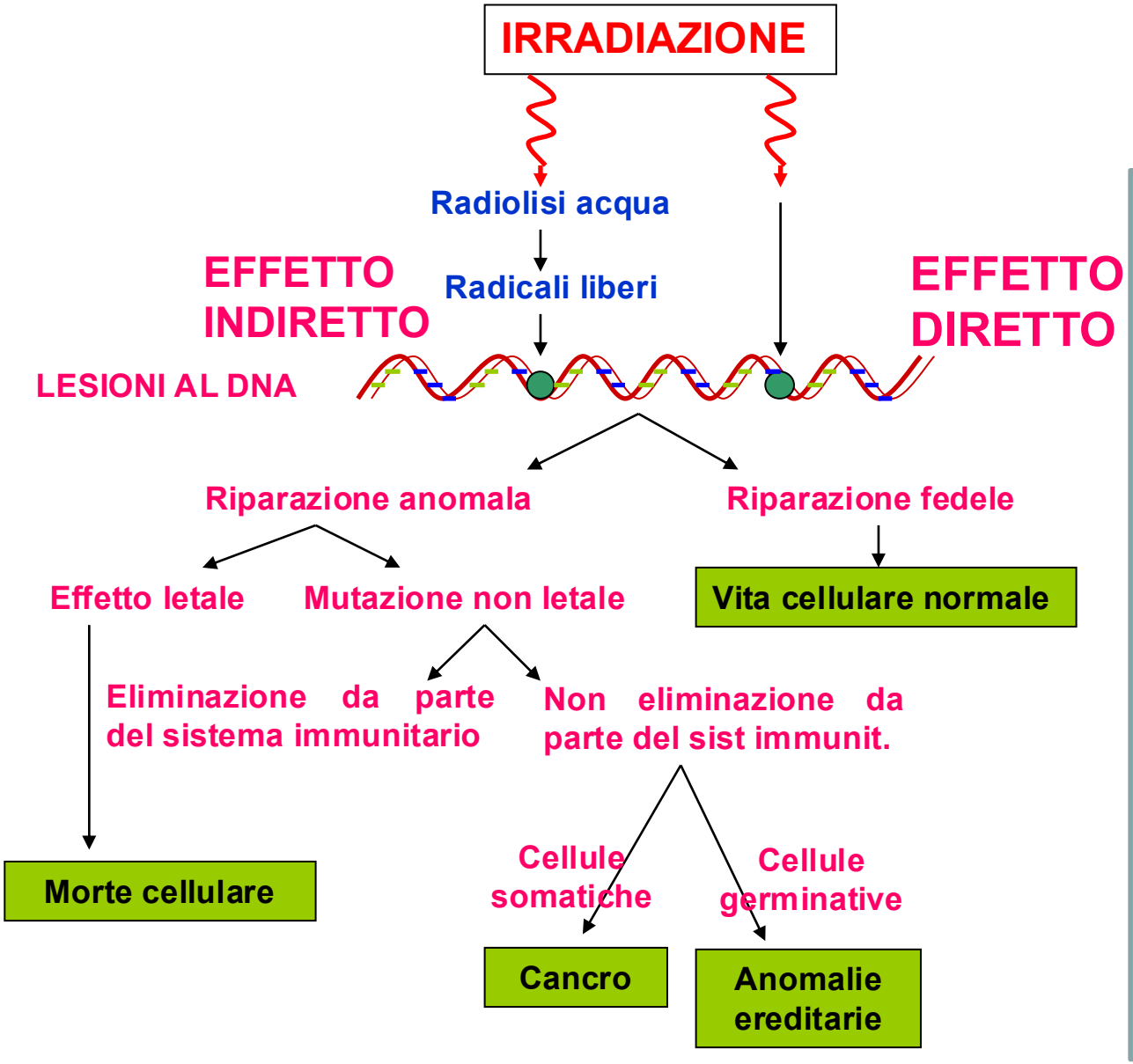
Rottura di entrambi i filamenti



A volte il danno interessa l'intero cromosomo (aberrazioni cromosomiche), producendo la sua rottura o ricombinazione in modo anomalo.

In condizioni normali gran parte dei danni al DNA indotti dalla radiazione viene riparata

Gli effetti biologici sono il risultato di tappe successive



10^{-15} s

10^{-6} s

minuti
ore

anni
generazioni

Effetti biologici come risultato di una **fase fisica**, fase chimica, fase biologica

EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Effetti stocastici, detti anche a lungo termine. { somatici, genetici

Ad ogni dose si associa una probabilità di danno, quindi l'induzione del danno è casuale (modello lineare senza soglia LNT)

Effetti deterministici, detti anche immediati. { somatici

Per dosi elevate è possibile trovare una relazione dose-effetto di tipo deterministico con soglia.

Possibili effetti biologici

Notare che questa parte, sulle conoscenze nel campo, evolve nel tempo

★ **Stocastici (a lungo termine)**

probabilità di danno è funzione della dose senza soglia

somatici **(Leucemie, Tumori solidi..)**

- la probabilità dipende dalla dose e non vi è soglia

- la latenza è lunga (andamento temporale per leucemie e cancro osseo: distribuzioni con inizio a un $\Delta t \approx 2$ y e picco $\Delta t \approx$ 5-8 y. Per altre sedi inizio $\Delta t \approx$ 5-10 y e incrementi successivi)

genetici **-aumento di mutazioni genetiche già presenti in natura**

-variazioni nella struttura dei cromosomi.

Possibili effetti biologici

Notare che questa parte, sulle conoscenze nel campo, evolve nel tempo

★ **Deterministici (a breve termine)**
frequenza e gravità del danno sono funzioni della dose
con soglia

Soglia per esposizione acuta

Opacità cristallino (0.5 - 2 Sv) *Cataratta (5 Sv)*

Sterilità uomo (3.5 – 6 Sv) - Sterilità donna (2.5 – 6 Sv)

Eritema (5 Sv) Ematopoiesi depressa (0.5 Sv)

SORGENTI DI RADIAZIONI IONIZZANTI NATURALI E ARTIFICIALI

La radioattività è un fenomeno naturale e tutti gli esseri viventi sono esposti a radiazioni ionizzanti di origine naturale: fondo naturale di radiazioni.

L'esposizione radioattiva può essere indotta attraverso l'uso di macchine radiogene, acceleratori o l'uso di sorgenti radioattive artificiali (sigillate o non sigillate).

Fondo naturale di radiazione ionizzante

Radiazione cosmica

Radiazione proveniente dal profondo spazio interstellare costituita da **protoni**, **alfa** e **nuclei pesanti** che in prossimità della terra interagiscono con l'atmosfera dando luogo a **emissione di radiazione secondaria**: elettroni, fotoni, neutroni…

L'**esposizione** derivante da raggi cosmici **aumenta con l'altitudine** per il ridursi dello spessore d'aria schermante: ***a 10 km di altitudine l'esposizione è circa 100 volte maggiore di quella a livello del mare***

Fondo naturale di radiazione ionizzante

Radiazione cosmica

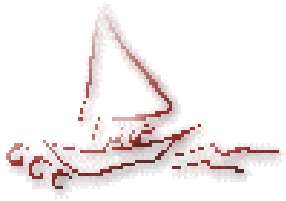
Radiazione proveniente dal profondo spazio interstellare costituita da **protoni**, **alfa** e **nuclei pesanti** che in prossimità della terra interagiscono con l'atmosfera dando luogo a **emissione di radiazione secondaria**: elettroni, fotoni, neutroni…

L'**esposizione** derivante da raggi cosmici **aumenta con l'altitudine** per il ridursi dello spessore d'aria schermante: ***a 10 km di altitudine l'esposizione è circa 100 volte maggiore di quella a livello del mare***

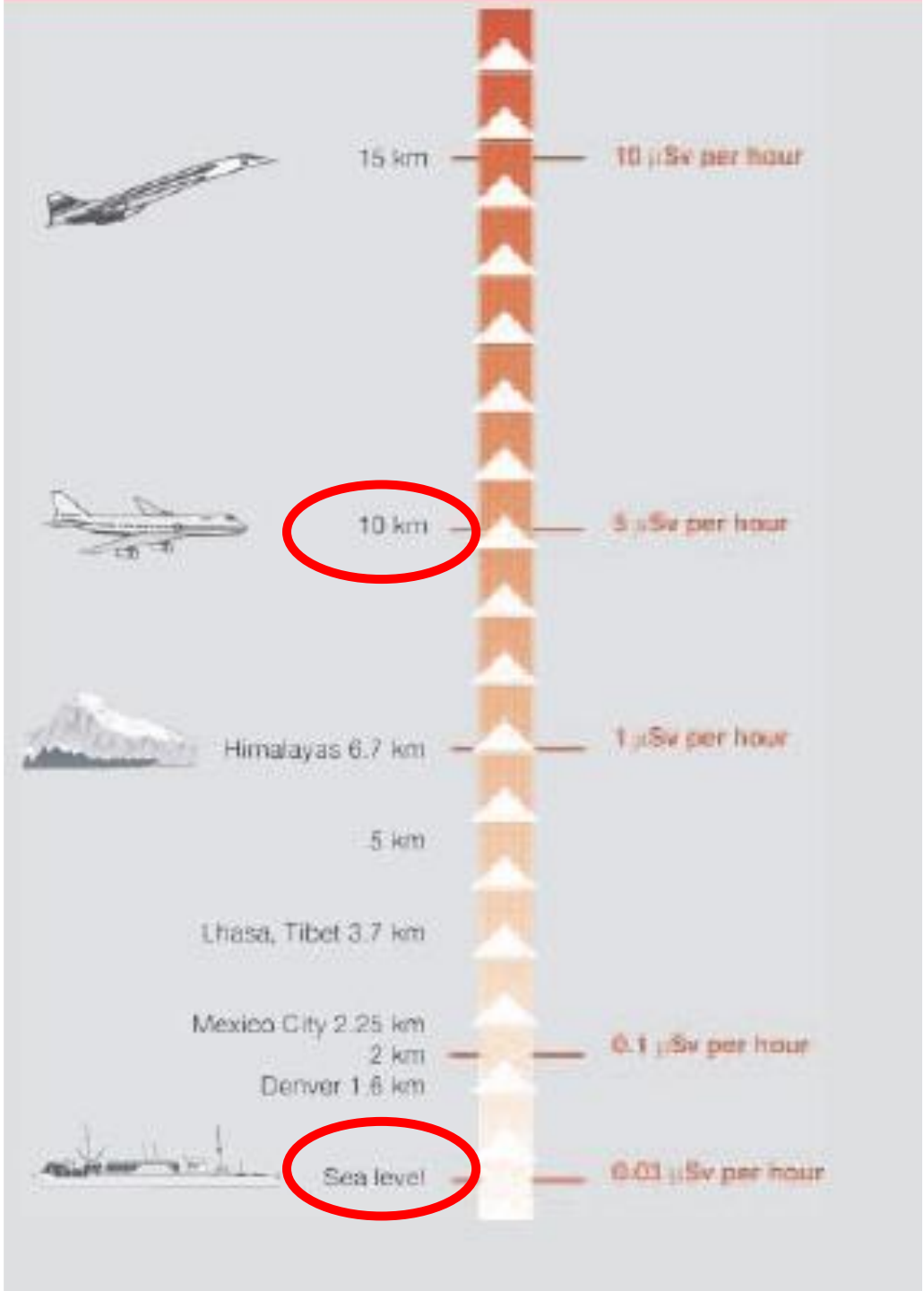
Radiazione terrestre

radiazione dovuta a radionuclidi primordiali presenti nella crosta terrestre (K40, Rb87, serie U238, serie Th232, serie U235).

Es: attività nel suolo di 100-700 Bq/kg per K40. In aria radiazione naturale terrestre dovuta a presenza dei gas radon (Rn222) e toron (Rn220), radionuclidi della serie U238 e Th232.

Un chilogrammo di granito ha una radioattività naturale di circa 1000 Becquerel	
Un litro di latte ha una radioattività naturale di circa 80 Becquerel	
Un litro di acqua di mare ha una radioattività naturale di circa 10 Becquerel	
Un individuo di 70 kg ha una radioattività dell'ordine di 8000 Becquerel, causata dalla presenza, nel corpo umano, di isotopi radioattivi naturali (in gran parte, potassio-40)	

Variazione della dose oraria con la quota



3 μSv/h

0.03 μSv/h

Dosi (dose efficace) relative a voli aerei.

(Rapporto Eurados sull'esposizione dell'equipaggio)

Cities	Effective Dose (μSv)
Vancouver ➤ Honolulu	14.2
Frankfurt ➤ Dakar	16.0
Madrid ➤ Johannesburg	17.7
Madrid ➤ Santiago de Chile	27.5
Copenhagen ➤ Bangkok	30.2
Montreal ➤ London	47.8
Helsinki ➤ New York (JFK)	49.7
Frankfurt ➤ Fairbanks, Alaska	50.8
London ➤ Tokyo	67.0
Paris ➤ San Francisco	84.9

FAMIGLIE RADIOATTIVE

Dell'Uranio 238

^{238}U, ^{234}Th, ^{234}Pa, ^{234}U, ^{230}Th, ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{218}Po, ^{218}At, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po, ^{210}Ti, ^{210}Pb, ^{210}Bi, ^{210}Po, ^{206}Ti, ^{206}Pb.

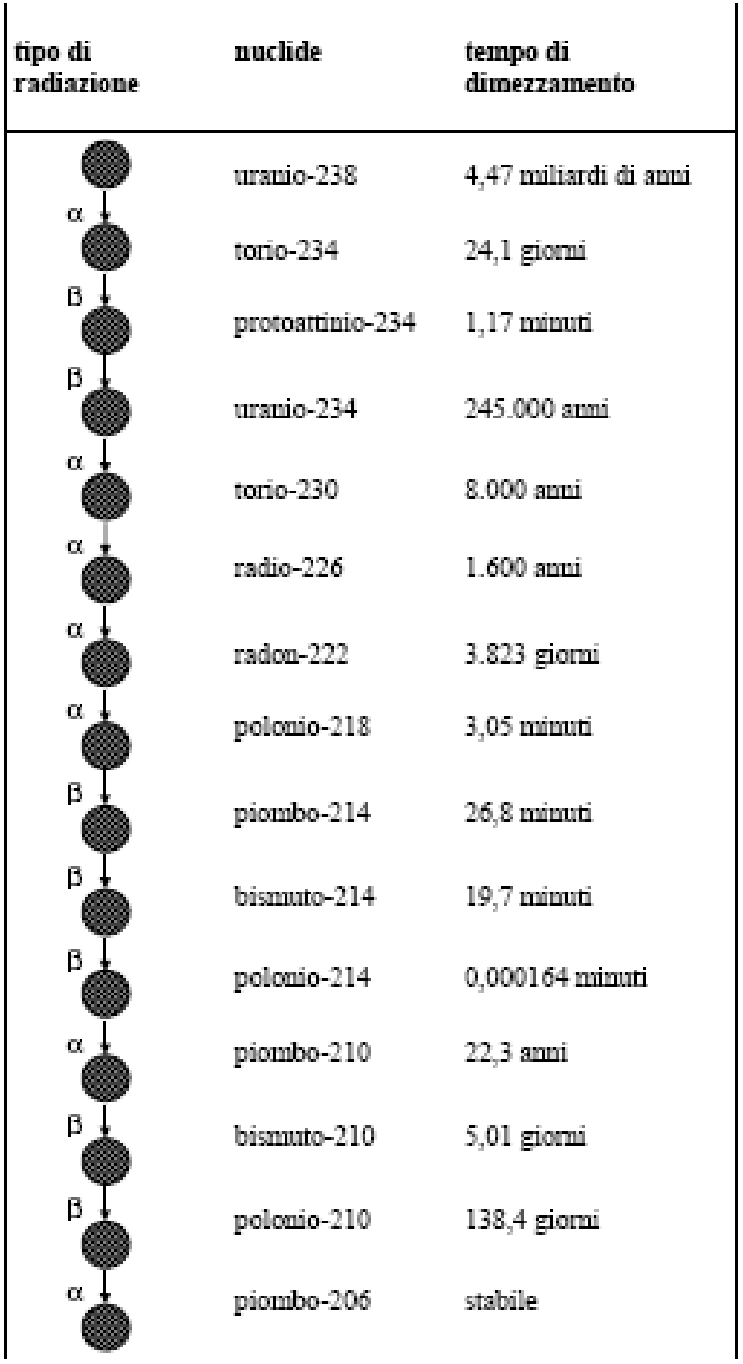
Del Torio 232

^{232}Th e termina con ^{208}Pb

Dell'Uranio 235

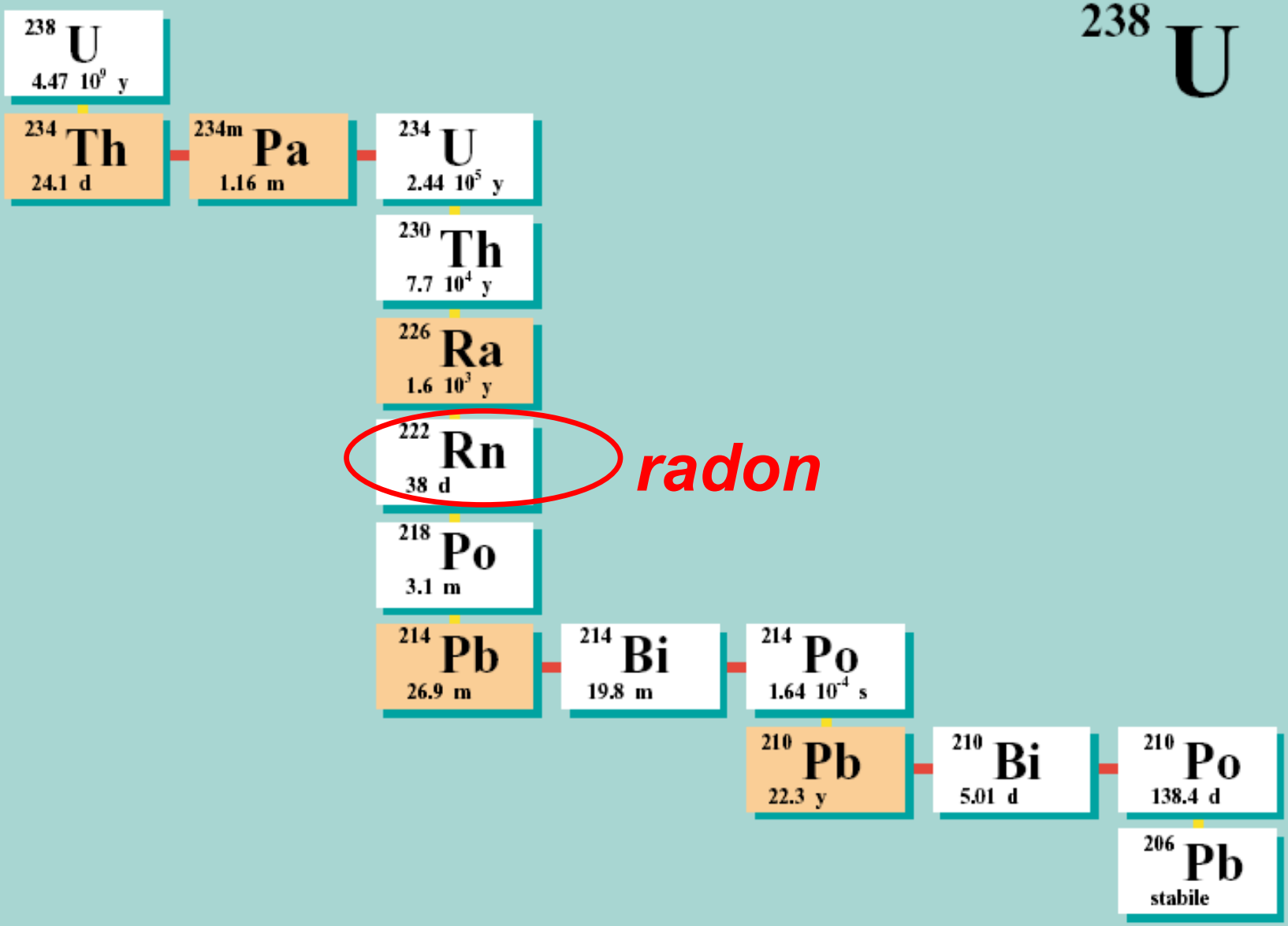
^{235}U e termina con ^{207}Pb

Scheda per il decadimento di ^{238}U



tipo di radiazione	nuclide	tempo di dimezzamento
	uranio-238	4,47 miliardi di anni
α	torio-234	24,1 giorni
β	protoattinio-234	1,17 minuti
β	uranio-234	245.000 anni
α	torio-230	8.000 anni
α	radio-226	1.600 anni
α	radon-222	3.823 giorni
α	polonio-218	3,05 minuti
β	piombo-214	26,8 minuti
β	bismuto-214	19,7 minuti
β	polonio-214	0,000164 minuti
α	piombo-210	22,3 anni
β	bismuto-210	5,01 giorni
β	polonio-210	138,4 giorni
α	piombo-206	stabile

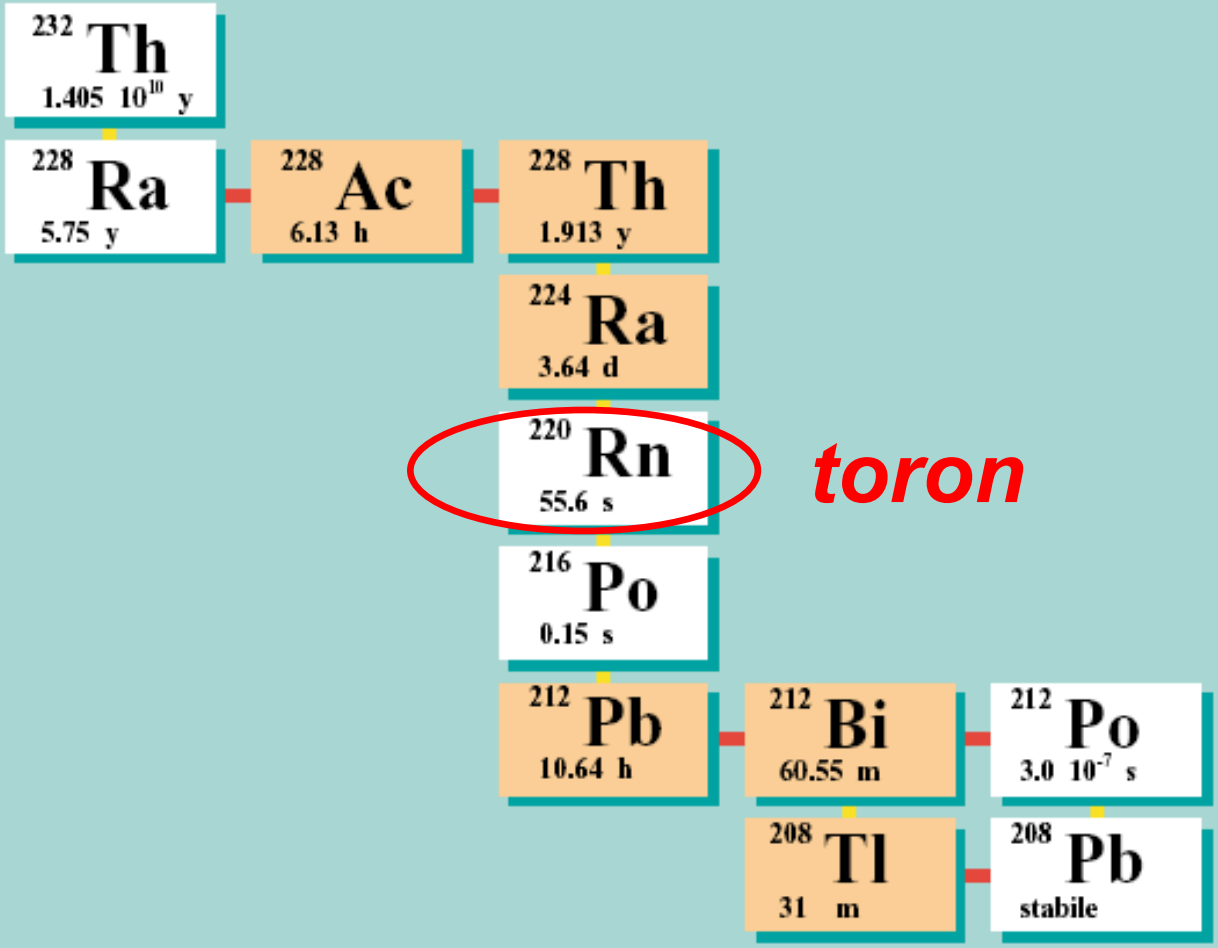
FAMIGLIE RADIOATTIVE



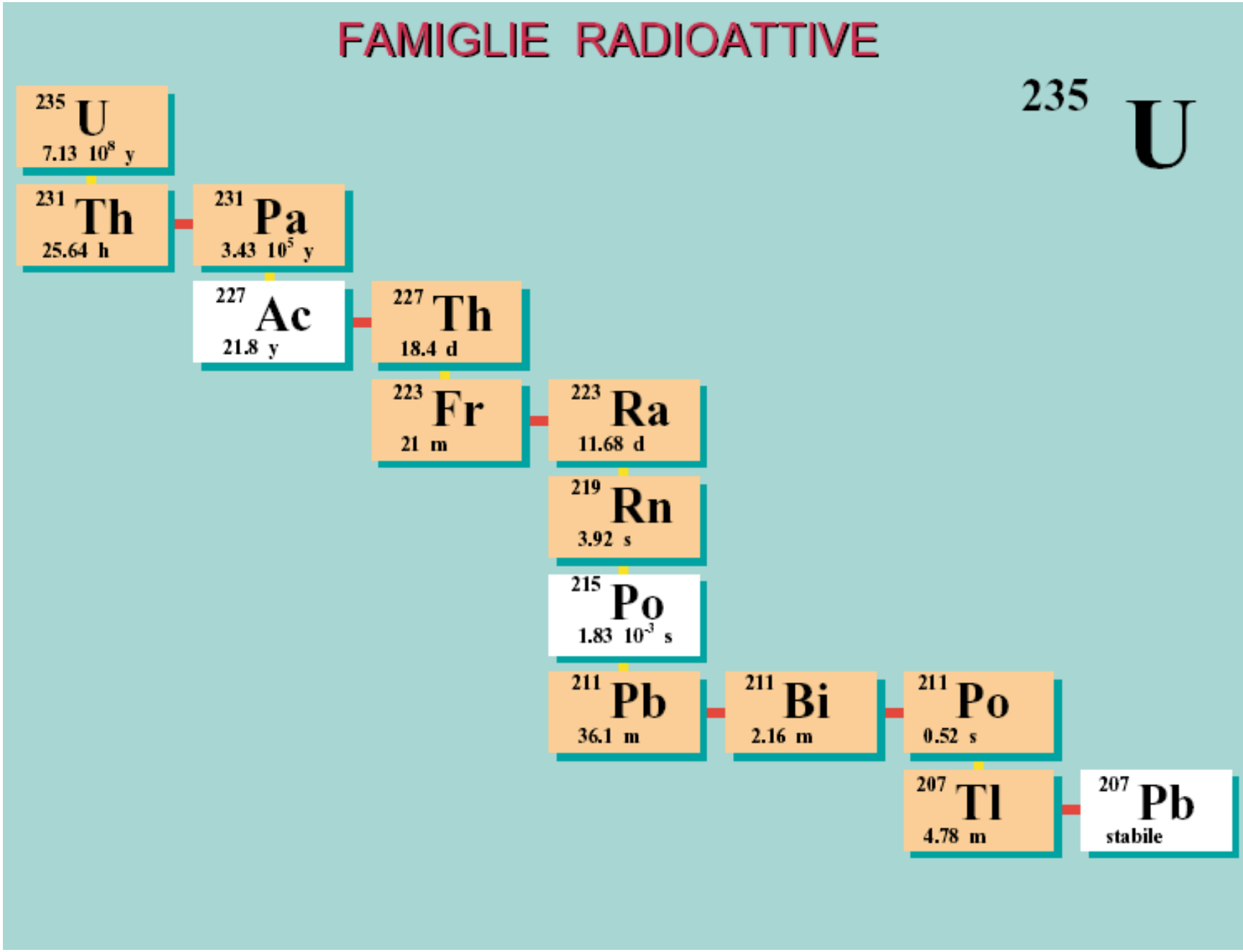
238 U

FAMIGLIE RADIOATTIVE

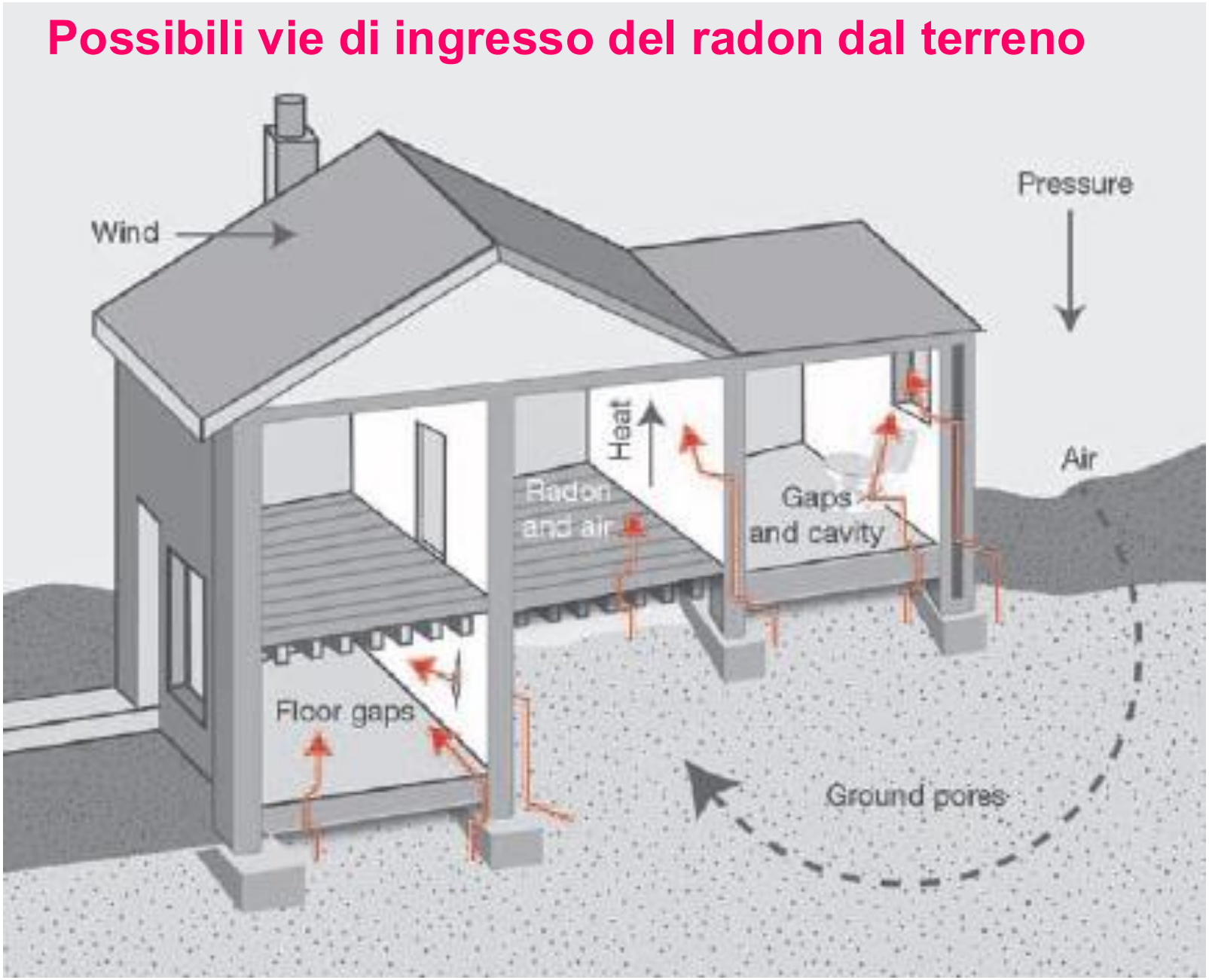
^{232}Th



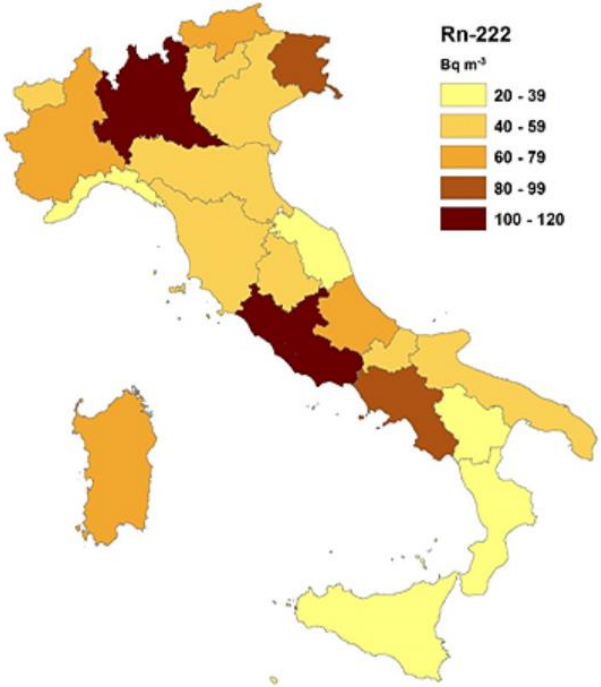
FAMIGLIE RADIOATTIVE

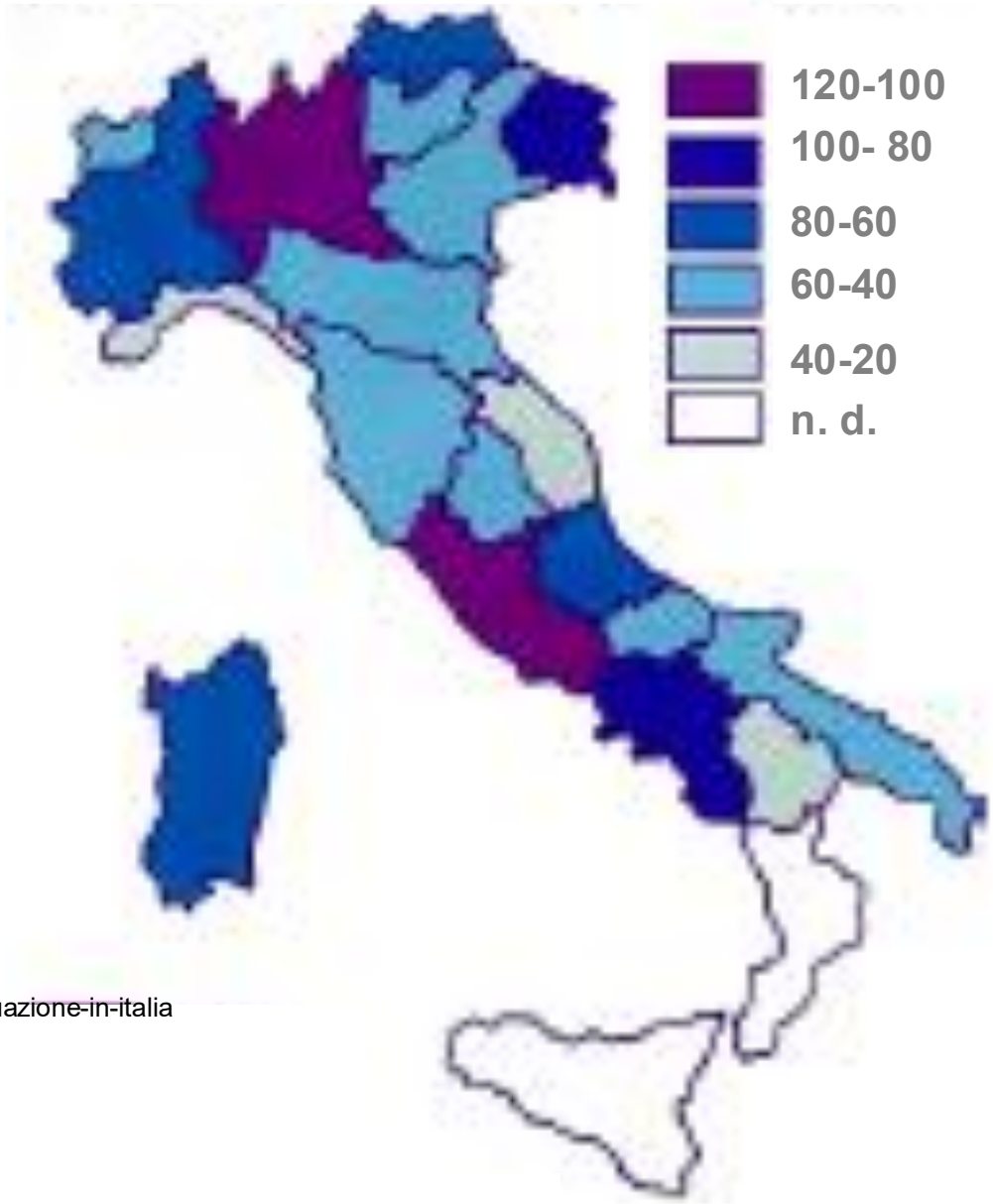


Possibili vie di ingresso del radon dal terreno



Concentrazione di radon (Bq/m^3). Health Phys. Nov 1996.





http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/radioattivita-ambientale/Radon/la-situazione-in-italia

Radioattività naturale presente nel corpo umano

Nuclide (N)	massa totale	attività totale	ingestione/giorno
Uranium	90 µg	1.1 Bq	1.9 µg
Thorium	30 µg	0.11 Bq	3 µg
Potassium-40	17 mg	4.4 kBq	0.39 mg
Radium	31 pg	1.1 Bq	2.3 pg
Carbon-14	95 µg	15 kBq	1.8 µg
Tritium	0.06 pg	23 Bq	0.003 pg
Polonium	0.2 pg	37 Bq	0.6 µg

Concentrazione di U, Th, K nei materiali da costruzione

(NCRP 94, 1987 , Chang 1974, Hamilton 1970)

Materiale	Uranio (mBq/g)	Thorio (mBq/g)	Potassio (mBq/g)
Granito	63	8	**1184**
Cemento	46	21	**237**
Gesso	15	7.4	**148**
Legno	-	-	**-**
Matt. argilla	111	44	**666**

DOSE EFFICACE ANNUALE DA RADIAZIONE NATURALE
(Report UNSCEAR 2000)

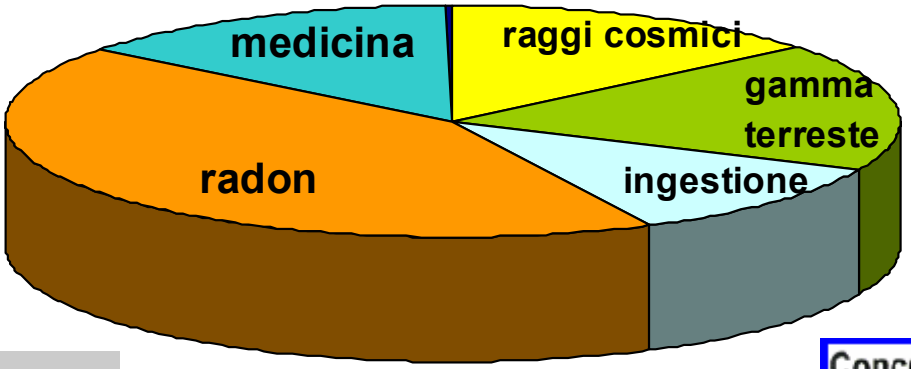
Source	Worldwide average Dose (mSv)	Typical range Dose (mSv)
Cosmic radiation	0.4	0.3–1.0
Gamma radiation	0.5	0.3–0.6
Radon inhalation	1.2	0.2-10
Internal irradiation	0.3	0.2–0.8
Total (rounded)	2.4	1.0–10

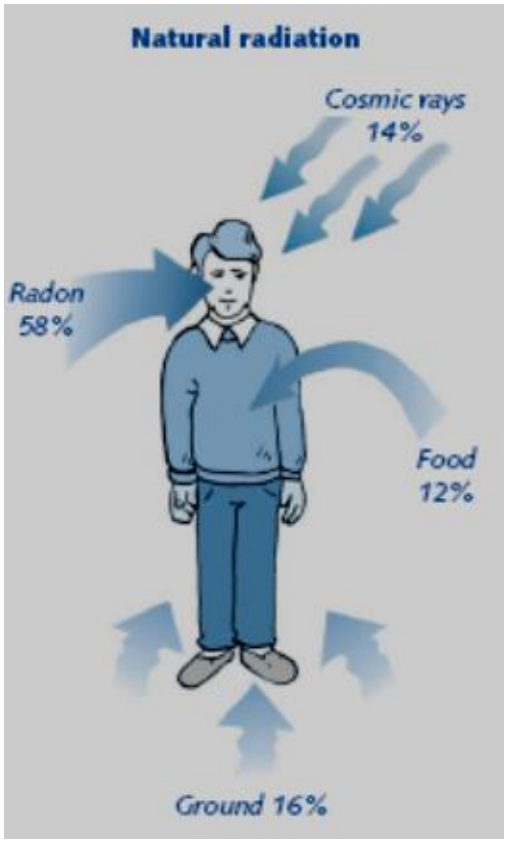
ESPOSIZIONI MEDICHE

costituiscono la principale fonte di esposizione a sorgenti artificiali di radiazioni ionizzanti

Source	Dose (mSv)
Natural	
Cosmic	0.4
Gamma rays	0.5
Internal	0.3
Radon	1.2
Artificial	
Medical	0.4
Atmospheric nuclear testing	0.005
Chernobyl	0.002
Nuclear Power	0.0002
Total (rounded) mSv	**2.8**

Dose media annua per la popolazione



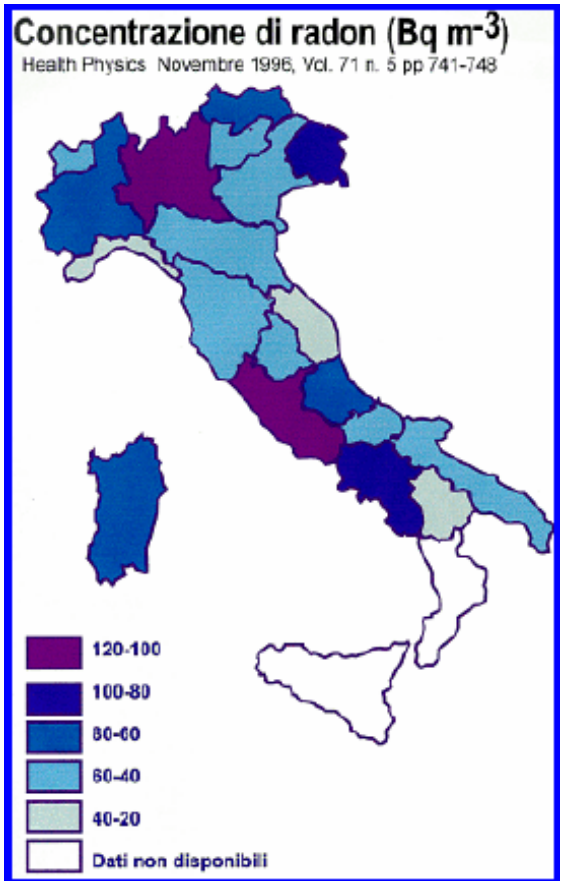


Dose media per persona

2.8 mSv / anno

di cui per il fondo naturale

2.4 mSv / anno



Limiti di dose (es. ICRP 60)

	Lavoratori esposti	popolazione lavoratori non esposti
E dose efficace o globale	20 mSv/anno	1 mSv/anno
H cristallino	150 mSv/anno	15 mSv/anno
H pelle, mani, avambracci, piedi caviglia	500 mSv/anno	50 mSv/anno

Classificazione dei lavoratori ad es. ICRP 60

Lavoratori esposti categoria A categoria B

Lavoratori non esposti

Lavoratori esposti- categoria A

- **Sorveglianza fisica individuale (dosimetria)**
- **Sorveglianza medica (semestrale)**

sono suscettibili di superare almeno uno dei seguenti valori

E dose efficace(globale)	**6 mSv/anno**
H dose equivalente, per cristallino	**45 mSv/anno**
H per pelle, mani, piedi, caviglie	**150 mSv/anno**

ovvero 3/10 dei limiti

Lavoratori esposti – categoria B

- **Sorveglianza fisica può essere su base ambientale**
- **Sorveglianza medica (annuale)**

non suscettibili a superare i valori di cui sopra ma di superare i valori limite per la popolazione.

PER LA DOSE EFFICACE (totale a corpo intero)

Lavoratore, 20 mSv / y





Popolazione, 1 mSv / y

