



---

# La radioprotezione ai LNS

---

Renata Leanza

[rleanza@lns.infn.it](mailto:rleanza@lns.infn.it)

# Chi si occupa di garantire un uso appropriato delle radiazioni ionizzanti e la protezione da esse?

## RADIOPROTEZIONE

### ATTUAZIONE: LA LEGISLATURA

#### 3 PRINCIPI

1. Giustificazione
2. Ottimizzazione
3. Limiti di Dose

- Raccomandazioni e leggi Internazionali (ICRP , ICRU, direttive CEE: EURATOM 80/836, 84/467, 92/3, 96/29, ecc.)
- Legislazione italiana (D.Lgs.101/2020, ecc.)
- Norme costruttive e di buona tecnica (norme UNI, CEI, ISO)
- Rapporti e pubblicazioni Internazionali
- Autorizzazioni di singoli impianti con prescrizioni operative (autorità competenti) e Norme interne (datore di lavoro, E.R.)

### ESPERTO DI RADIOPROTEZIONE

Persona, incaricata dal datore di lavoro per mezzo del assicuratore la sorveglianza fisica dei lavoratori esposti (art.128-comma1 del Dlg.s 101/20).

- Valutazione delle dosi, valutazioni preventive, prime verifiche e verifiche periodiche e rilascio benestari (della sorveglianza fisica), sorveglianza ambientale nelle zone controllate e sorvegliate, sorveglianza sullo smaltimento dei rifiuti e allontanamento, assiste il datore di lavoro nella definizione dei programmi di formazione dei lavoratori

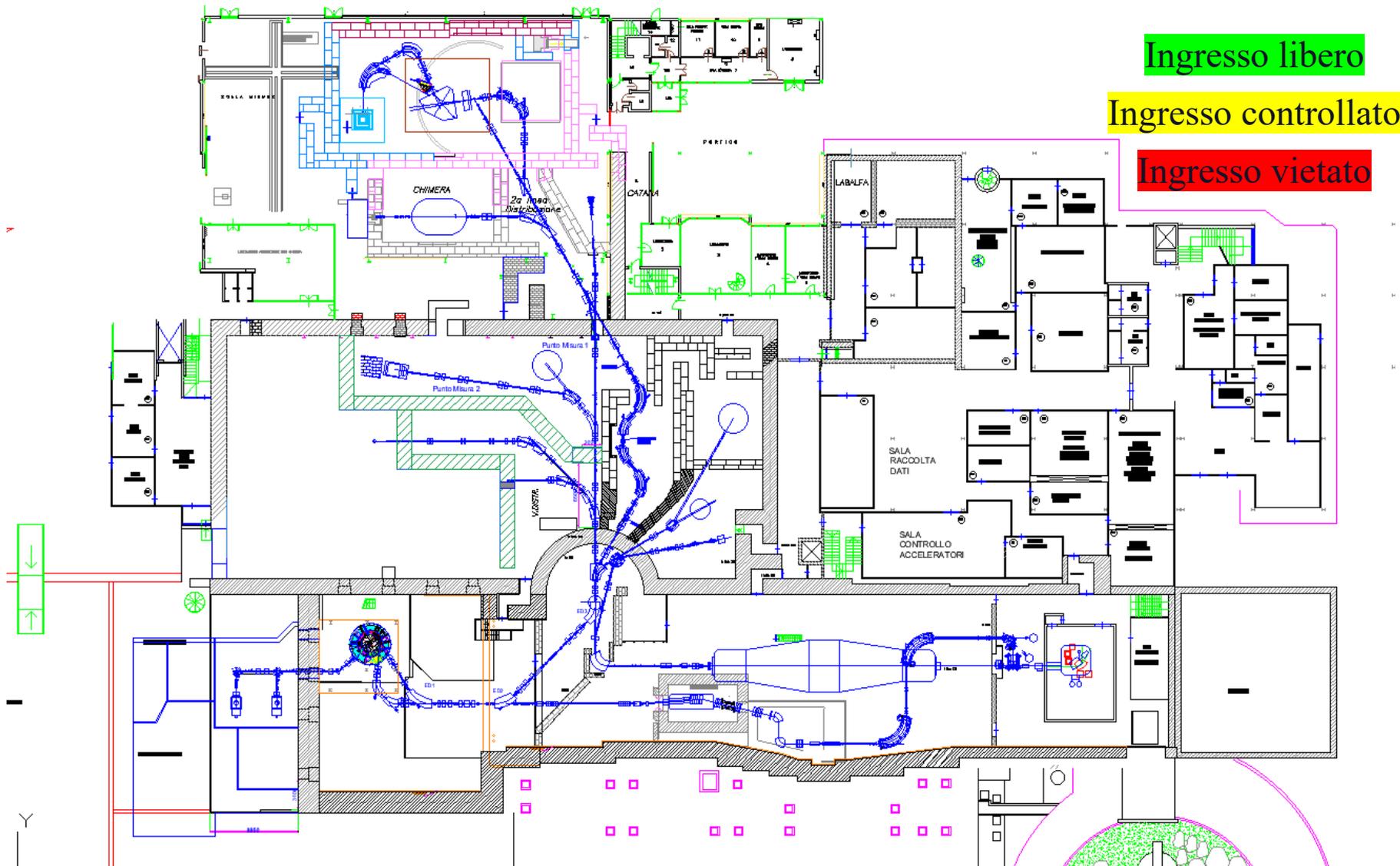
### MEDICO AUTORIZZATO

sorveglianza sanitaria (art.134) dei lavoratori esposti alle radiazioni

- Visite mediche preventive e idoneità, visite mediche periodiche e idoneità, visite mediche straordinarie (Art.135 e 136)

# Sorgenti di radiazioni ionizzanti ai LNS

- ❖ **Radiazione temporanea**, presente solo a fascio acceso e Tubi a raggi X, *Radiazioni X*
- ❖ **Radiazione residua** presente anche quando il fascio è spento
  - **Materiali attivati** dai fasci accelerati o dalle radiazioni neutroniche, ( $\beta$ ,  $\gamma$ )
  - **Sorgenti radioattive**, di calibrazione o irraggiamento (X,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , o neutroni)



**Stazioni fisse:** Rivelano le *radiazioni ambientali* misurando i livelli delle grandezze che indicano il *rischio biologico associato alla loro esposizione* (rateo di equivalente di dose [Sv/h]).



**Sistemi portatili attivi:** insieme di monitori portatili, ciascuno con caratteristiche diverse, capaci di rivelare differenti tipi di radiazioni ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$ ,  $\gamma$ , neutroni) a varie energie ed *adattabili a differenti situazioni operative* (misure ambiente, su superfici, misure a distanza o a contatto, ecc): geiger mueller, camere a ionizzazione, contatori proporzionali, Scintillatori, ecc.

## Sistemi passivi, dosimetri



# ESPOSIZIONE ALLE RADIAZIONI IONIZZANTI

- per **esposizione esterna (irraggiamento)** che avviene quando l'individuo si trova sulla traiettoria delle radiazioni emesse da una sorgente radioattiva situata all'esterno dell'organismo
  - totale (*al corpo intero*) quando tutte le parti del corpo sono esposte contemporaneamente ed omogeneamente ad un determinato campo di radiazioni.
  - parziale (*mani, piedi, occhi, ecc.*) quando sono esposte solo alcune parti del corpo

L'esposizione esterna cessa quando l'individuo si allontana dalla sorgente ovvero vengono interposti opportuni schermi.

- per **esposizione interna (contaminazione) (organi critici)** che si verifica quando la sorgente radioattiva si trova all'interno dell'organismo,

inalazione (*vapori, gas, pulviscolo*)

ingestione (*materiali solidi o liquidi*)

assorbimento transcutaneo (*trizio, iodio, cesio*)

ferite cutanee

L'esposizione interna cessa quando i radioisotopi respirati o ingeriti o introdotti attraverso ferite sono completamente rimossi dall'organismo (ad esempio: con l'urina, le feci, ecc.).

# Grandezze Radioprotezionistiche

## QUANTIFICANO IL RISCHIO

Dose equivalente,  $H_T$

Dose efficace,  $E$

Definite dall'ICRP (International Commission on Radiological Protection) - **non sono direttamente misurabili**, sono valori medi e servono a tenere conto dei diversi tipi di radiazione incidenti su un medesimo tessuto e delle diverse risposte dei vari organi su cui incide la radiazione. Vengono determinate misurando il valore di una grandezza fisica e moltiplicandolo per un appropriato coefficiente di conversione.

### A PARTIRE DALLA....

Dose assorbita  $D$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

Esprime l'energia deposita nell'interazione della radiazione con la materia, nella unità di massa

L'unità di misura è il **gray (Gy)**

$$1 \text{ gray} = 1 \text{ Joule/kg}$$

Entrambe le grandezze sono fondamentali per la radioprotezione, in quanto consentono di stimare il rischio di effetti stocastici (come il cancro) derivanti dall'esposizione a radiazioni ionizzanti e di stabilire limiti di dose per la protezione dei lavoratori e del pubblico.

# Dose equivalente, $H_T$

## Fattori di ponderazione $w_R$ per le radiazioni di tipo ed energia R

Fotoni, tutte le energie	1
Elettroni e muoni, tutte le energie	1
Neutroni, energia < 10 keV	5
10 keV - 100 keV	10
> 100 keV - 2 MeV	20
> 2 MeV - 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protoni, tranne quelli di rinculo, energia > 2 MeV	5
Particelle alfa, frammenti di fissione, nuclei pesanti	20

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Sievert (Sv)

- Rappresenta la dose assorbita da un organo o tessuto, ponderata per il tipo di radiazione.
- Tiene conto del fatto che diversi tipi di radiazioni (raggi X, raggi gamma, particelle alfa, ecc.) hanno diverse capacità di causare danni biologici.
- Quantifica il danno biologico provocato dalle diverse radiazioni su un singolo organo.

# Dose efficace, E

## Fattori di ponderazione $w_T$ per i tessuti T

Gonadi	0,20
Midollo osseo (rosso)	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
Superfici ossee	0,01
Altri tessuti	0,05

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

Sievert (Sv)

- Rappresenta la somma delle dosi equivalenti ricevute dai diversi organi e tessuti, ponderate per la loro radiosensibilità.
- Tiene conto del fatto che diversi organi e tessuti del corpo umano hanno diverse sensibilità alle radiazioni.
- Quantificare il danno biologico subito dall'intero organismo.

# Grandezze Operative

Definite dall'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements): sono utilizzate per il monitoraggio ambientale e personale, servono a fornire una stima ragionevole delle grandezze di protezione (dose equivalente e dose efficace) in condizioni di esposizione reali.

**Sfera ICRU da 30 cm:** fantoccio sferico che riproduce le caratteristiche del corpo umano, costituito da materiale tessuto equivalente (assorbe l'energia come assorbirebbe il tessuto), densità 1g/cm<sup>3</sup>, diametro. **Sono riferite ad un punto specifico, in un campo allineato ed espanso** (distribuzione spettrale ed energetica uguale in tutti i punti e fluenza Unidirezionale)

Per la sorveglianza nelle aree di lavoro:

**Equivalente di dose ambientale:**  $H^*(d)$  generalmente  $d$  è **10 mm lungo il raggio** della sfera ICRU

Per la sorveglianza Individuale dei lavoratori (utilizzando dosimetri personali indossati sul corpo o estremità):

**Equivalente di dose personale:**  $H_p(d)$

- 10 mm,  $H_p(10)$  per la stima della dose efficace al corpo intero
- 0.07 mm,  $H_p(0,07)$  (profondità dello strato germinativo della cute) per la stima della dose equivalente alla pelle e alle estremità.
- Per il cristallino la profondità è 3 mm,  $H(3)$ .

Le grandezze operative sono utilizzate per confrontare le misurazioni delle radiazioni con i limiti di dose stabiliti dalle normative.

# Come si misura la radioattività?

Quanti nuclei della nostra sorgente decadono in un secondo

$$\text{Attività} \longrightarrow A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

$\lambda$  **costante di decadimento radioattivo**: la **probabilità** che quel particolare processo di decadimento abbia luogo nell'unità di tempo

**Becquerel [Bq ] = 1 disintegrazione al secondo**

## Altra grandezza utilizzata...

**Tempo di dimezzamento**: intervallo di tempo necessario affinché la metà dei nuclei di un dato radionuclide vada incontro a decadimento.

$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 0,693 * T \text{ (sec)}$$

## Elementi fondamentali per la protezione

**TEMPO**: trascorrere meno tempo possibile vicino alla sorgente, in quanto il danno biologico è correlato con l'accumulo di dose

**DISTANZA**: aumentare il più possibile la distanza fra sorgente e personale, in quanto la dose di una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza:

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

dove  $D_1$  è l'intensità di dose alla distanza  $r_1$  dalla sorgente e  $D_2$  è l'intensità di dose alla distanza  $r_2$  dalla sorgente (esempio: passando dalla distanza di 1 m a quella di 2 m, l'intensità di dose si riduce di un fattore 4)

Ma anche.....

**MEZZI DI PROTEZIONE**: utilizzare i mezzi di protezione come *pinzette*, *manipolatori*, ecc.

**COMPORAMENTO**: seguire le istruzioni impartite (norme impartite dagli esperti in materia) ed adottare tutte le misure dettate dal buon senso

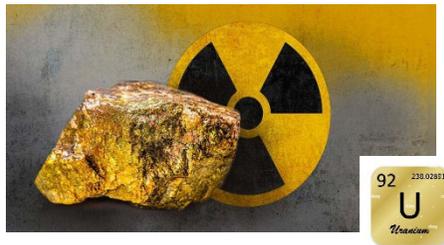
## IMPIEGHI DEI RADIOISOTOPI (SIA SIGILLATI CHE NON) E MACCHINE RADIOGENE

- *Industria:* Gammagrafia: si sfrutta il principio di maggiore o minore assorbimento delle radiazioni nel materiale da esaminare. Si effettuano misure di omogeneità o bontà dei materiali, ricerca di difetti nelle saldature o nelle fusioni di metalli, ecc;  
Radiometria: misure di livello, spessore, densità, umidità, gascromatografi,
- *Agricoltura:* Fertilizzanti controllo della ritenzione di fertilizzanti nelle piante (N-15, P-32)  
Insetti: tecniche di sterilizzazione dei maschi  
Sterilizzazione biologica (prodotti medicali o derrate alimentari), “stimolazione” di semi, tuberi al fine di ottenere una più alta germinazione o resistenza alle avversità, ecc.
- *Medicina:* Terapia interstiziale ed endocavitaria: sorgenti sigillate sotto forma di pastiglie, aghi, fili, che vengono collocati su organi del paziente;  
Diagnostica e Terapia, marcatori con atomi radioattivi che hanno “affinità” verso particolari tessuti o organi sui quali si intende investigare o agire (radionuclidi a basso tempo di dimezzamento, elevata purezza radiochimica, basso tempo di ritenzione della molecola marcata negli organi interessati, bassa probabilità che la stessa molecola si diffonda in altri organi (es. diagnostica: Tc-99m, I-125, F-18; Terapia: I-131, P-32, Ir-192, Sm-153, Tl-201, Cr-5)  
Diagnostica: radiografie (tubi raggi X); TAC (tomografia assiale computerizzata); PET (tomografia ad emissione di positroni)  
Terapia: acceleratori di elettroni; acceleratori di adroni (protoni, carbonio, ecc.)

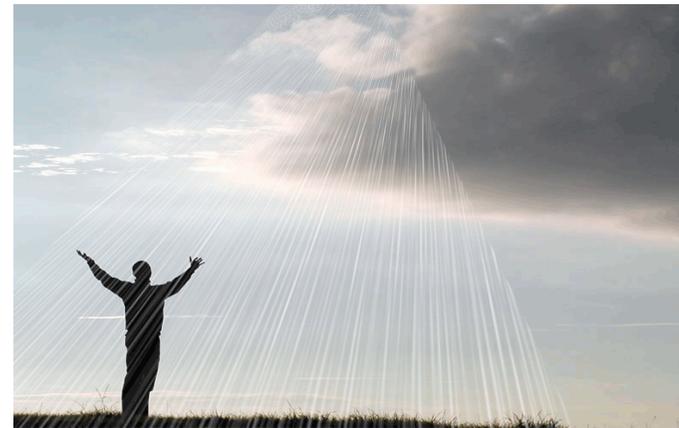
# Considerazioni ...

...tutti gli esseri viventi sono esposti in modo «Naturale» alle radiazioni!!!

Gli esseri umani sono costantemente esposti a bassi livelli di radioattività naturale, provenienti dal suolo, dall'acqua, dall'aria e dagli alimenti, dovuti ai radionuclidi primordiali presenti fin dalla formazione della Terra, come l'uranio, il torio e il K-40.



- L'esposizione al radon è una delle principali fonti di esposizione alla radioattività naturale.
- I raggi cosmici, sono un'altra fonte di esposizione alla radioattività naturale.



- Effetti sulla salute:** L'esposizione a livelli elevati di radiazioni ionizzanti può aumentare il rischio di sviluppare il cancro e altre malattie.

# Considerazioni ...

...Chi lavora con le radiazioni ionizzanti rischia più degli altri?

Riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative (fonte Health Physics, 61-3, 1991)

Attività Lavorativa	Riduzione media della durata della vita (giorni)
Commercio	27
Industria manifatturiera	40
Servizi	27
Trasporti	160
Agricoltura	320
Costruzioni	227
<b>Esposizioni alle radiazioni</b>	<b>40</b>

Causa	Riduzione
Abuso di Alcool	4000
Essere Celibe, vedovo o divorziato	3500
Fumo ( 1 pacchetto di sigarette/giorno )	2250
Essere Nubile, vedova o divorziata	1600
Essere sovrappeso ( + 20% )	1040
Incidenti con veicoli a motore	207
Alcool	130
Incidenti in casa	74
Fumo passivo	50
<b>Esposizione lavorativa alle radiazioni</b>	<b>40</b>
Cadute	28
<b>Esposizione alle radiazioni di individui della popolazione</b>	<b>18</b>
Esami RX-diagnostici	6
Caffè	6

# Grazie per l'attenzione

# Classificazione dei Lavoratori

**Art. 133 «... sono suscettibili di superare in un anno solare uno dei seguenti valori...»**

## LAVORATORE ESPOSTO:

Superiori a uno o più dei limiti

Dose efficace: 1mSv/anno solare

Dose equivalente:

- Cristallino 15 mSv/anno solare
- Pelle e estremità 50 mSv/anno solare

## LAVORATORE NON ESPOSTO:

Stessi Limiti esposizione popolazione

Dose efficace: 1mSv/anno solare

Dose equivalente:

- Cristallino 15 mSv/anno solare
- Pelle e estremità 50 mSv/anno solare



Suscettibili di superare

- Dose efficace: 6mSv/ anno solare
- Dose equivalente:
  - Cristallino 15 mSv/anno solare
  - Pelle e estremità 150mSv/anno solare

Suscettibili di superare

- Dose efficace: 1mSv/ anno solare
- Dose equivalente:
  - Cristallino 15 mSv/anno solare
  - Pelle e estremità 150mSv/anno solare

Un lavoratore classificato esposto è un qualunque lavoratore che è sottoposto a un'esposizione sul lavoro derivante da pratiche contemplate dal Dlg.s 101/20 che può ricevere dosi superiori ad uno dei limiti imposti per la popolazione, che deve essere formato e che deve essere ritenuto idoneo

# Limite di dose

I limiti di dose per **i lavoratori esposti** sono stabiliti in:

**20 mSv** dose efficace in un anno solare;

dose equivalente in un anno solare:

- 1) **20 mSv** per il cristallino;
- 2) **500 mSv** per la pelle; tale limite si applica alla dose media, su qualsiasi superficie di  $1 \text{ cm}^2$ , indipendentemente dalla superficie esposta;
- 3) **500 mSv** per le estremità.

I limiti di esposizione per **gli individui della popolazione** sono stabiliti in:

- **1 mSv** di dose efficace per anno solare;
- limiti di dose equivalente in un anno solare:
  - **15 mSv** per il cristallino;
  - **50 mSv** per la pelle, calcolato in media su  $1 \text{ cm}^2$  di pelle, indipendentemente dalla superficie esposta.