

La Radioprotezione (D.Lgs 101/2020 e s.m.i)

Ing. Gian Pietro Bisceglie

Ordine Ingegneri Provincia di Roma

Presidente Commissione Radioprotezione e Emergenze

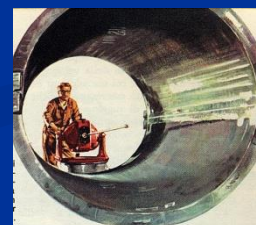
Impiego delle radiazioni nelle attività umane

- L'impiego delle radiazioni ionizzanti, e dei fenomeni fisici ad esse connessi, nelle molteplici attività umane, inizia verso la fine del 1800 con la scoperta dei raggi-x ad opera di Roengten. Attualmente tale impiego si realizza :
 - Nell' Industria
 - Nella generazione di energia
 - Nella diagnostica e nella terapia medica
 - Nella ricerca di base ed applicata
 - Nella costruzione di armamenti nucleari.



Quale che sia il campo di impiego, si è subito presentata l'esigenza di predisporre strumenti e norme che assicurino, negli ambienti di lavoro e di vita un livello di rischio da radiazioni accettabile.

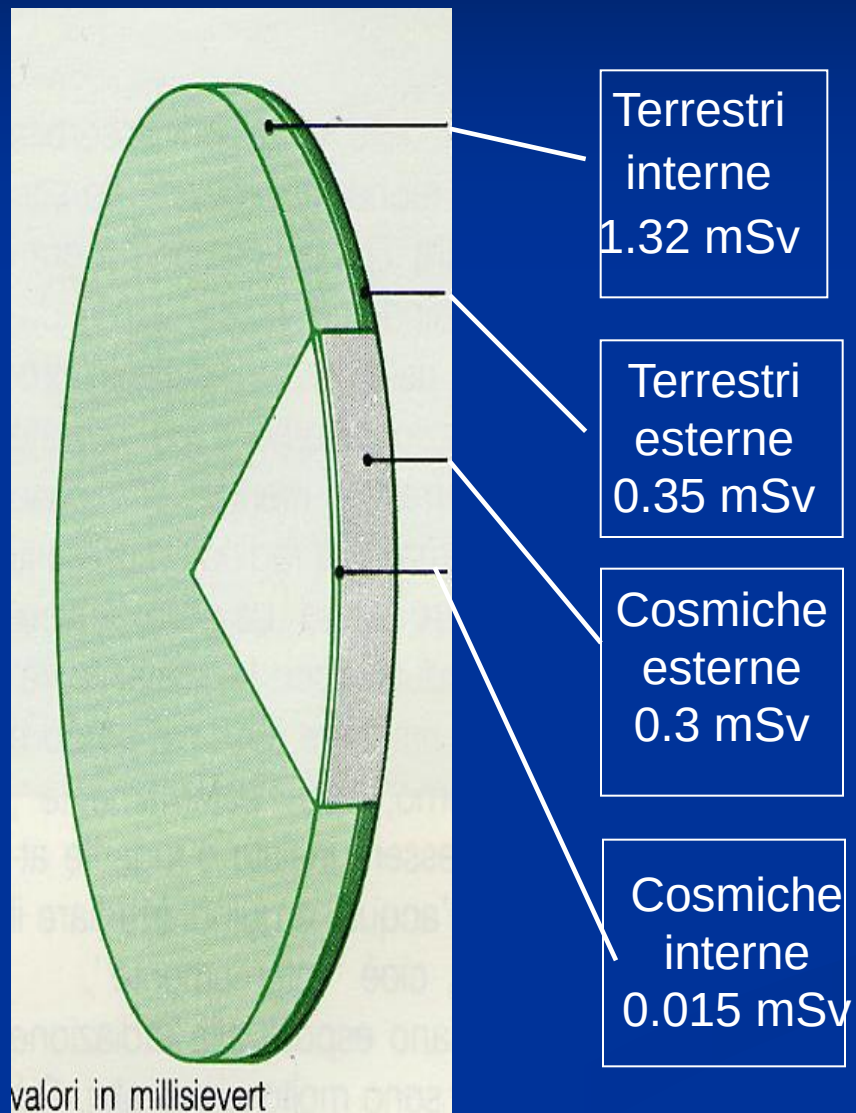
Scopo del corso è illustrare il concetto di rischio radiologico nonché i metodi e strumenti propri della Radioprotezione in relazione ai vari ambienti di lavoro.



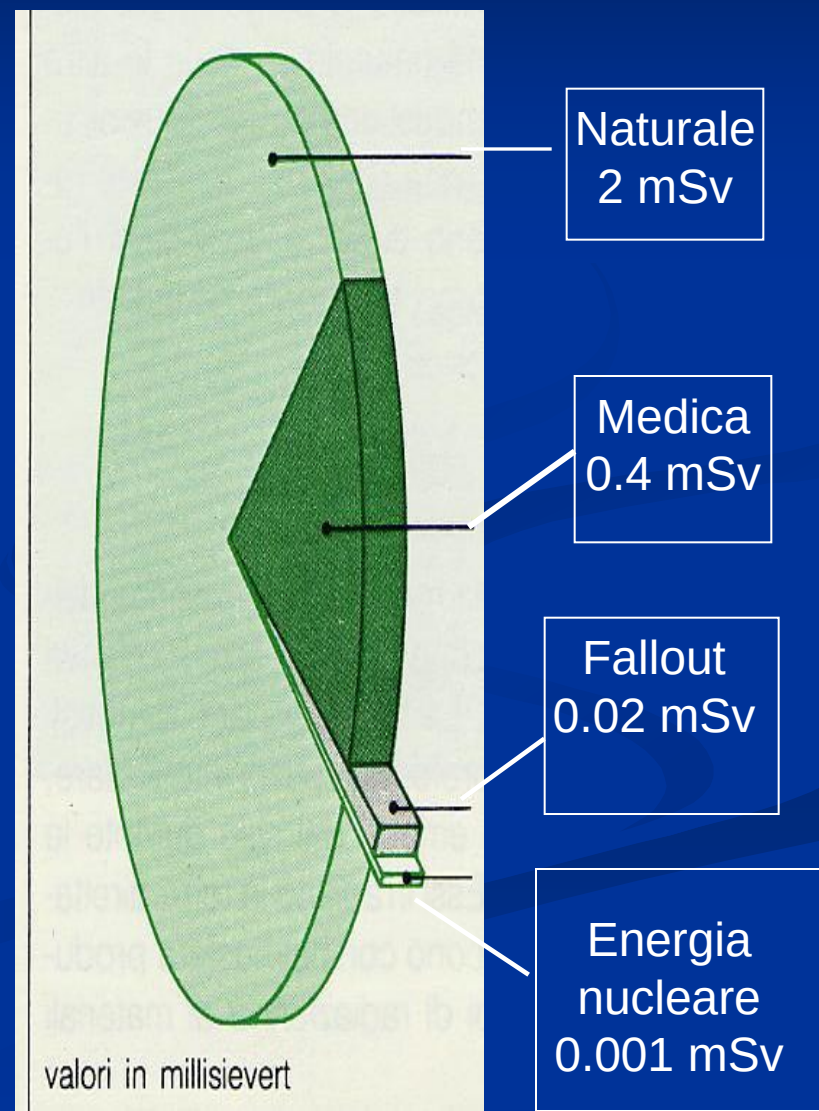
Sorgenti radioattive naturali ed artificiali: Contributo alla dose alla popolazione



Sorgenti naturali



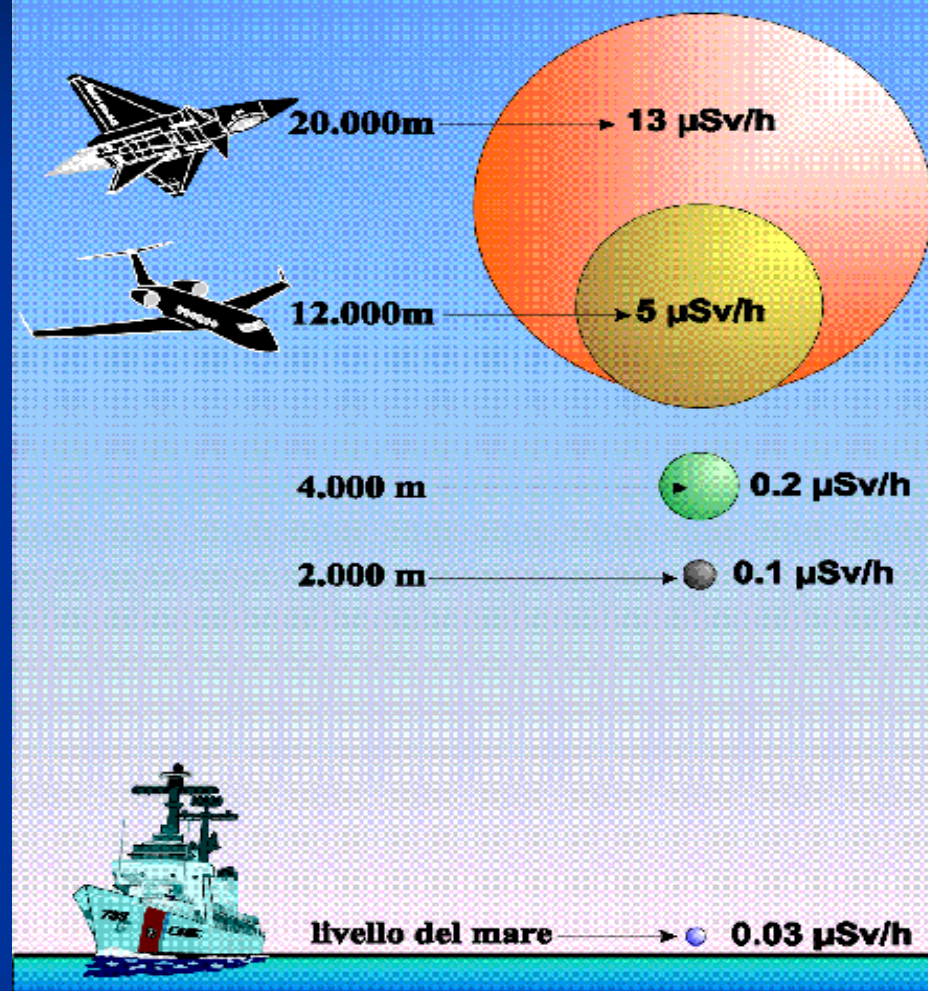
Sorgenti di radiazioni naturali ed artificiali



DOSI AMBIENTALI (valori annui in mSv)



RAGGI COSMICI



SORGENTI NATURALI DI RADIAZIONI

Sorgente di esposizione	Dose efficace annua (mSv/a)	
	Media	Intervallo tipico
Radiazione cosmica		0,3 - 1
Componenti direttamente ionizzanti e fotoni	0,28	
Neutroni	0,10	
Radionuclidi cosmogenici	0,01	
Totale	0,39	
Esposizione esterna alla radiazione terrestre		0,3 – 0,6
All' aperto	0,07	
In luoghi chiusi	0,41	
K-10, Rb-87, serie rad U-238, Th -232 Totale	0,48	
Esposizione per inalazione		0,2 - 10
Serie dell' uranio e del torio	0,006	
Radon (Rn 222)	1,15	
Toron (Rn 222)	0,10	
Totale	1,26	
Esposizione per ingestione		0,2 – 0,8
K-40	0,17	
Serie dell' uranio e del torio	0,12	
Totale	0,29	
Totale	2,4	1 - 10

<http://www.taishitsu.or.jp/radiation/index-e.html>



**Guarapari Beach,
Brazil**

Radioactive beach
sands eroded from
surrounding
mountains.

800 mSv · a⁻¹





**Kerala Beach,
India**
Radioactive beach
sands eroded
from surrounding
mountains.
 $35 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$



Ramsar, Iran
Hot springs
 $700 \text{ mSv} \cdot \text{a}^{-1}$

RAMSAR, IRAN

Ramsar e' una stazione climatica situata nel nord dell'Iran sul mar Caspio.

Per eccesso di radio-226 il fondo è da 50 a 200 volte superiore ai valori medi con punte a 260 mSv/anno.

I circa 2000 residenti non hanno presentato un aumento dell'incidenza del cancro e la loro durata di vita è la stessa di quella degli altri Iraniani.

.....
L'esposizione ad un alto fondo naturale può indurre una **risposta adattativa** sulle cellule umane.

(Mortazavi S.M.J. , 2000; Ghiassi-Nejad M., 2002)

RADIAZIONI IONIZZANTI

Definizione : energia emessa da una fonte e che modifica lo stato fisico degli atomi dei materiali incontrati.

Le radiazioni ionizzanti possono essere

Radiazioni elettromagnetiche
(fotoni x , γ)

Radiazioni Corpuscolari
 β , α , n , p

Le modifiche che avvengono negli atomi incontrati costituiscono i processi di ionizzazione

Sorgenti di Radiazioni Ionizzanti

Sostanze Radioattive
(Naturali o Artificiali)
(cosmici, radon)

Macchine radiogene
(Apparecchi Rx - Acceleratori)

Rad. Naturali
(Raggi

SOSTANZE RADIOATTIVE

Molti nuclei costituenti la materia presentano un certo grado di instabilità per cui spontaneamente tendono a trasformarsi in nuclei più stabili con emissione di radiazione. Le sostanze contenenti tali nuclei instabili sono note come **SOSTANZE RADIOATTIVE**. Il processo di trasformazione è detto **DECADIMENTO RADIOATTIVO** ed avviene con un tempo e con emissione di radiazioni caratteristiche per ogni nucleo.

Effetto del decadimento radioattivo è dunque la graduale scomparsa dei nuclei instabili che sono sostituiti da nuclei più stabili come prodotto finale, poiché durante le fasi intermedie del decadimento si possono ottenere nuclei fortemente instabili.



Sorgenti sigillate e non sigillate

Le sorgenti radioattive sono suddivise in due categorie :

- Sorgenti Sigillate (S.S.)

Sono confezionate in modo tale che in condizioni normali di impiego non possono dare origine a nessun tipo di contaminazione dell'ambiente o delle persone. La fonte di rischio è legata alla sola

Irradiazione ESTERNA

- Sorgenti non Sigillate (S.N.S)

Sono in forma liquida, gassosa, polveri, quindi nelle normali condizioni di lavoro possono disperdersi nell'ambiente circostante ed entrare nei cicli biologici e nelle catene alimentari dell'uomo. La fonte di rischio è legata a :

Irradiazione INTERNA

Irradiazione ESTERNA



Tipi di radiazioni

Grandezze Fisiche

CARATTERI	ALFA α	BETA β	GAMMA γ
massa	4	0,0005	0
carica elettrica	+ 2	± 1	0
energia (Mev)	4 ÷ 8	0 ÷ 3	0 ÷ 20
range in aria	pochi cm	vari m.	molti m
range in tessuto	50 μm	pochi mm	vari cm
Irradiazione di interesse	interna	esterna + interna	Esterna + interna
Possibili mezzi protettivi	carta fogli di plastica legno	alluminio vetro Plastiche	piombo calcestruzzo Vetro e gomma al piombo

Effetti di ionizzazione nella materia al passaggio delle particelle

Le Particelle α e β sono elettricamente cariche per cui passando vicino agli elettroni Orbitali interagiscono con essi strappandoli (alcuni) dall'atomo incontrato, il quale resta **ionizzato**.

Le particelle α producono $3000 \div 6000$ coppie di ioni in un mm di aria.

Le particelle β ne producono $5 \div 40$

I fotoni γ - x non sono carichi e dunque possono ionizzare l'atomo solo se urtano direttamente gli elettroni ai quali cedono parte della loro energia (**effetto Compton**) o tutta ed in questo caso si annullano (**effetto fotoelettrico**)

Particelle α

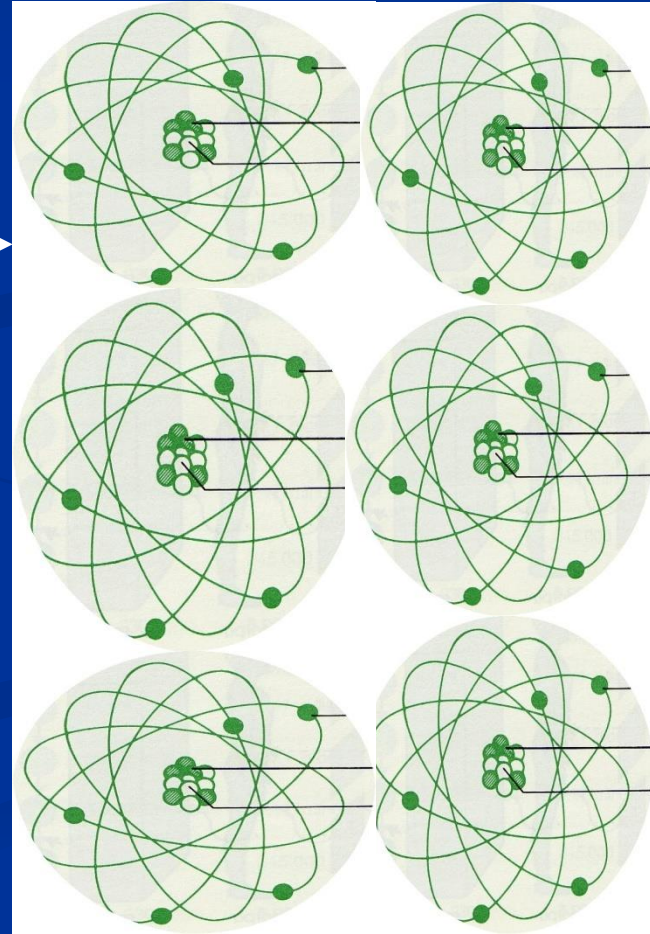
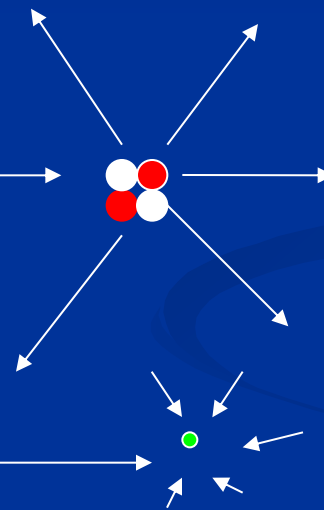
Percorso in aria:
qualche cm.

Particelle β

Percorso in aria:
qualche m.

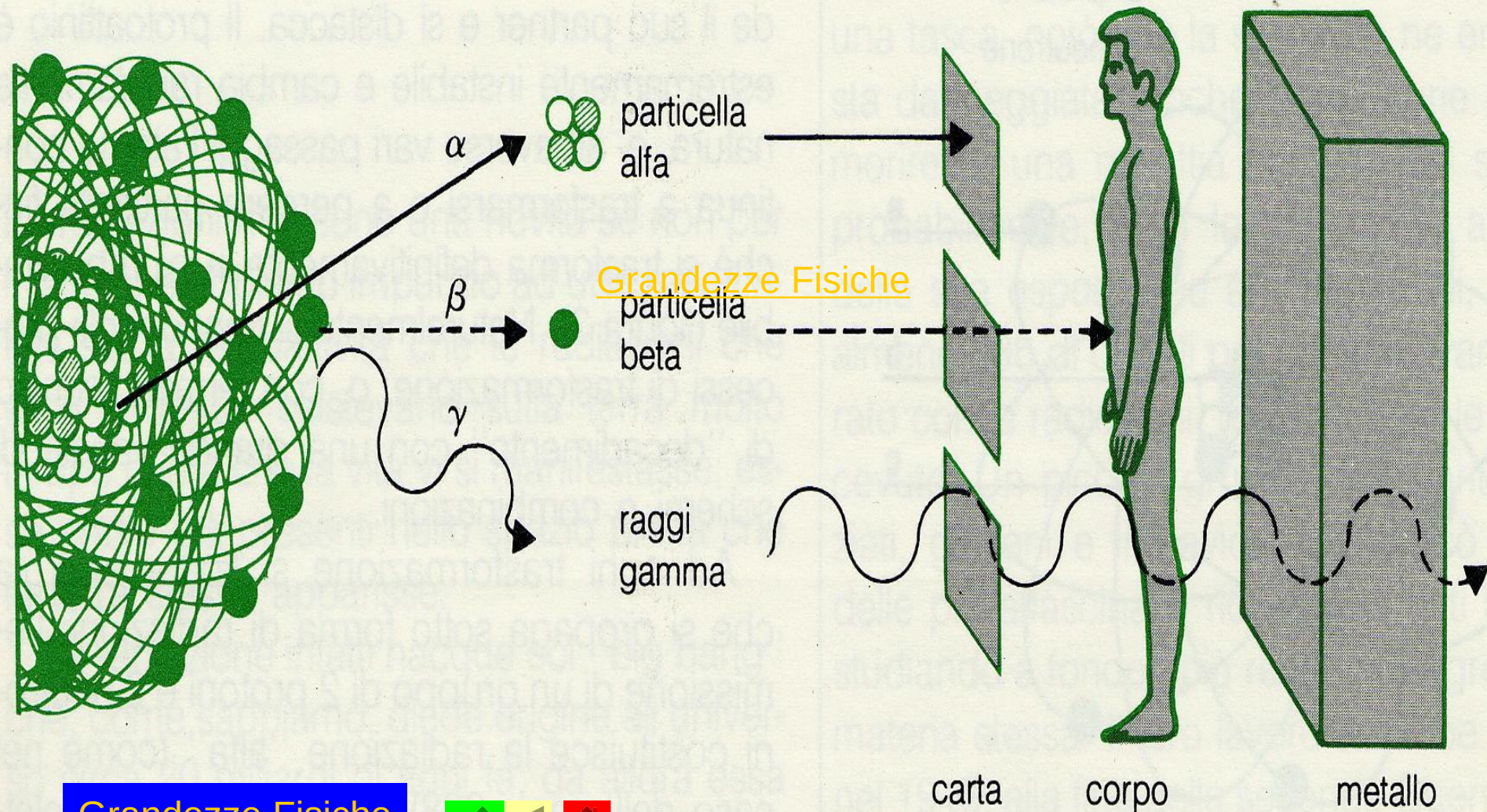
Fotone γ

percorso in aria:
Molti m.



[Grandezze Fisiche](#)

Caratteristiche di attenuazione delle radiazioni ionizzanti



Grandezze quantitative di una Sostanza radioattiva



Quantità di un radionuclide contenuto in una sorgente radioattiva

Il numero di atomi del radionuclide che decadono in un secondo, ad un certo istante di vita della sorgente, è proporzionale al numero totale di atomi del radionuclide presenti nella sorgente nell'istante considerato. Tale numero definisce anche l'intensità di emissione della sorgente pertanto ne descrive completamente il carattere quantitativo e viene definito **ATTIVITÀ** della sorgente radioattiva.

ATTIVITÀ = numero di decadimenti (o disintegrazioni) in un secondo (Becquerel)

1 Becquerel (Bq) = una disintegrazione/sec

(Nelle vecchie unità $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dis/sec}$ $\longrightarrow$ $1 \text{ mCi} = 37 \text{ MBq}$)



Tempo Di Dimezzamento ($T_{1/2}$) = tempo impiegato per dimezzare il numero di radionuclidi di una specie contenuti nella sorgente radioattiva



Cos'è la radioprotezione

- Protezione dalle radiazioni ionizzanti
- Obblighi per la radioprotezione

Scopi della protezione dalle radiazioni ionizzanti

- Proteggere i lavoratori e la popolazione, compresi i pazienti, dagli effetti sanitari delle radiazioni ionizzanti utilizzate nelle attività lavorative con finalità assistenziali, industriali, didattiche e di ricerca
- Tutte le persone sono esposte a sorgenti di radiazioni ionizzanti di origine naturale od artificiale

Scopi della protezione dalle radiazioni ionizzanti

- In radioprotezione devono essere definite grandezze che indichino, tramite l'energia ceduta, il numero di ionizzazioni.
- Il valore medio annuo della dose efficace dovuto alle sorgenti naturali di radiazioni è compreso tra 1 e 3 mSv
- Non sono considerate significative esposizioni lavorative che comportano valori annui di dose efficace inferiori a 1 mSv

PRINCIPI BASE DI RADIOPROTEZIONE

1. Giustificazione di una pratica

Nessuna pratica, che comporti esposizioni alle radiazioni ionizzanti, può essere adottata, se non a condizione che essa produca alle persone esposte o alla società un beneficio che compensi il rischio sanitario che essa comporta.

2. Ottimizzazione della protezione

L'entità delle dosi alle persone, il numero delle persone esposte e la probabilità che si verifichino esposizioni non prevedibili devono esser mantenuti al livello più basso ragionevolmente ottenibile (ALARA)

3. Limitazione delle dosi

Le dosi alle persone non devono superare i limiti raccomandati per le diverse modalità di esposizione dall'ICRP.

Dalla formulazione derivano due definizioni:

- 1. la normale esposizione occupazionale,**
- 2. l'esposizione potenziale.**

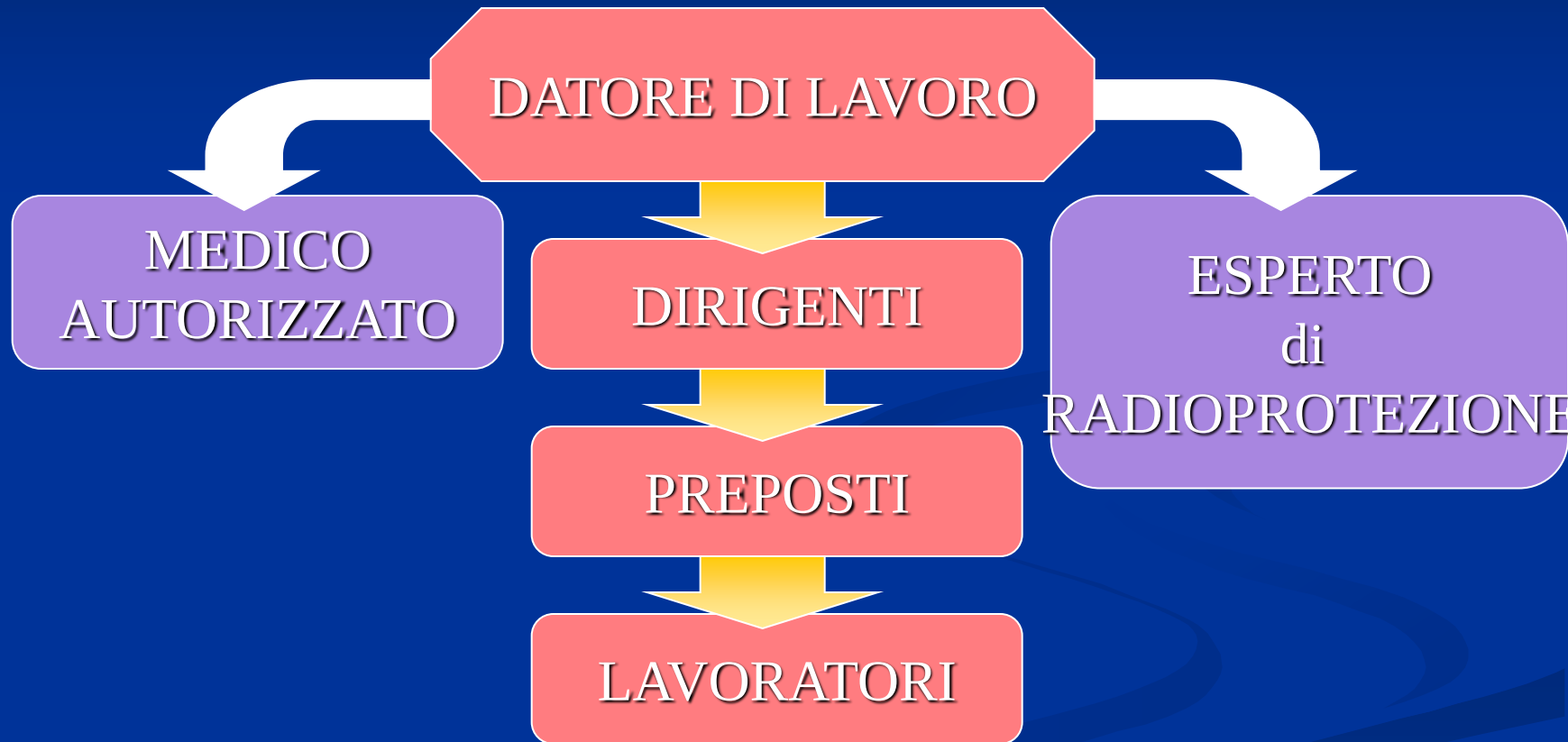
Normale esposizione occupazionale: è l'esposizione per lavoratori e persone del pubblico, che è prevedibile che si verifichi con probabilità 1 o quasi 1.

Comprende anche i contributi che possono derivare da scostamenti dal normale svolgimento di una pratica, che siano inevitabili, con probabilità elevata di accadimento e che comportino basse dosi e quindi conseguenze trascurabili.

Esposizione potenziale:

E' l' esposizione che non è certo che accada, ma la cui probabilità di accadimento può essere prevista; questa esposizione può comportare il rischio di dosi e quindi di danni sanitari che vanno ben oltre i limiti previsti per le esposizioni normali.

D.Lgs. 101/2020: Responsabilità



Classificazione dei lavoratori

- In funzione dell'entità del rischio i lavoratori per cui non può essere esclusa l'esposizione alle radiazioni ionizzanti sono classificati in
 - lavoratori non esposti
 - lavoratori esposti
- I lavoratori esposti possono, a causa della attività lavorativa svolta, ricevere un'esposizione che potrebbe comportare il superamento dei limiti di dose per le persone del pubblico
 - 1 mSv per la dose efficace
 - 15 mSv per la dose al cristallino
 - 50 mSv per la dose alla pelle od alle estremità
- I lavoratori non esposti non possono, a causa della attività lavorativa svolta, superare questi limiti

Descrittori degli effetti delle radiazioni ionizzanti

Secondo la complessità gerarchiche di aggregazione della materia è utilizzato un opportuno decrittore degli effetti delle Radiazioni Ionizzanti

Nella Materia inerte : → *Dose assorbita* - definisce la quantità di energia depositata nell'unità di massa

$$\text{Dose} = \text{Energia/Massa} \quad [\text{Gray}]$$

Nei Tessuti biologici : → *Dose Equivalente* - Dose assorbita dal tessuto opportunamente pesata da un fattore (W_R) a causa della dipendenza degli effetti biologici dal tipo e dall'energia della radiazione .

$$H_T = \text{Dose} \times W_R \quad [\text{Sievert}] \quad (T=1...22)$$

Nella Persona: → *Dose efficace* - Somma delle dosi agli organi, pesate per un fattore (W_T) che tiene conto della diversa incidenza che ogni organo ha sulla salute e qualità della vita dell'individuo

$$E = H_1W_1 + H_2W_2 + ... + H_{22}W_{22} \quad (\text{Sievert})$$



D.Lgs. 101/2020: classificazione lavoratori



popolazione



Cat. B



Cat. A

1

6

20

Limite di dose efficace annua (mSv)

Limiti di dose per lavoratori

NON ESPOSTI

ESPOSTI categoria B

ESPOSTI categoria A

Art. 133.

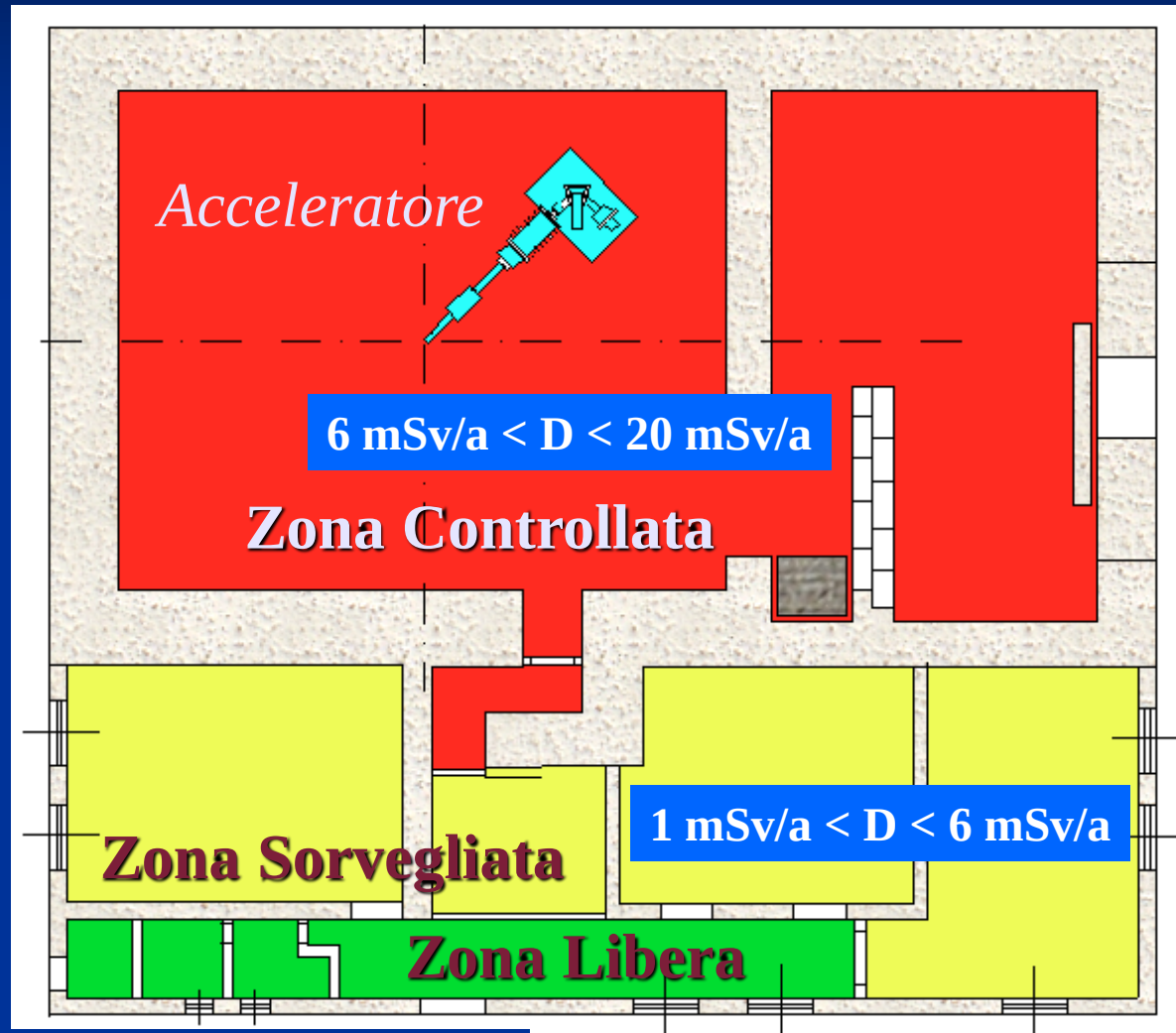
*Classificazione dei lavoratori e degli ambienti di lavoro
ai fini della radioprotezione e della sorveglianza fisica
(direttiva 2013/59/EURATOM, articoli 9, 36; decreto
legislativo 17 marzo 1995, n. 230, articolo 82).*

1. Sono classificati lavoratori esposti i soggetti che, in ragione della attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, sono suscettibili di superare in un anno solare uno o più dei seguenti valori:
 - a) 1 mSv di dose efficace;
 - b) 15 mSv di dose equivalente per il cristallino;
 - c) 150 mSv di dose equivalente per la pelle, calcolato in media su 1 cm² qualsiasi di pelle, indipendentemente dalla superficie esposta;
 - d) 50 mSv di dose equivalente per le estremità.

Classificazione degli ambienti di lavoro

- Zona Sorvegliata, in cui è possibile in un anno solare superare i limiti di dose per le persone del pubblico
 - 1 mSv per dose efficace
 - 50 mSv per la dose equivalente alle mani
 - 15 mSv per la dose al cristallino
- Zona Controllata, in cui è possibile che i lavoratori esposti ricevano in un anno solare valori di dose superiori a
 - 6 mSv per la dose efficace
 - 150 mSv per la dose equivalente alle mani
 - 15 mSv per la dose al cristallino

D.Lgs. 101/2020: classificazione zone



Analisi rischi nei Laboratori

Causa di rischio radiologico:

- Esposizioni riferite a numerose e diversificate manipolazioni di sorgenti non sigillate di media e bassa attività (da qualche kBq a decine di MBq)

- Radionuclidi utilizzati:

H^3 - C^{14} - P^{32} - P^{33} - I^{125} - I^{131} - S^{35}

- **Tipologia delle manipolazioni:**

Metodiche RIA – Manipolazioni semplici per via umida

- **Tipo di esposizione:**

Irradiazione esterna (Inevitabile ma riducibile a bassi valori)

contaminazione superficiale ed interna (Evitabile – Possibile per incidenti)



Analisi rischi nei laboratori : Irradiazione esterna

■ Fase operativa : Manipolazione di sorgenti madre ($10 \div 100$ MBq)

- Rischio dovuto ad irradiazione esterna delle mani e del corpo con manipolazione della sorgente priva del contenitore protettivo.

P³²	Dose in aria a 6 cm dalla sorgente madre:	$\approx 25 \div 250$	mGy/h
	60 cm	$\approx 0.26 \div 2.6$	mGy/h

C¹⁴	Dose in aria a 6 cm	$\approx 33 \div 330$	mGy/h
	20 cm	$\approx 0.03 \div 0.3$	mGy/h
	60 cm	Trascurabile	

I¹²⁵	Dose in aria a 6 cm	$\approx 0.1 \div 1.0$	mGy/h
	60 cm	$\approx 0.001 \div 0.01$	

Durata manipolazione : $1 \div 2$ min.

Esposizione massima prevedibile alle mani: ≈ 11 mSv

Esposizione massima prevedibile al corpo : ≈ 0.1 mSv



Sorgenti non sigillate

Principali presidi di radioprotezione nelle attività in vitro





Prenatal Radiation Exposure

The embryo-fetus is known to be more sensitive to radiation than adults due to the rapid division rate of developing cells. Radiation doses can increase the chances that the child will experience slower growth or mental development, or develop childhood cancer. These effects can also be caused by many hazards other than radiation.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE