

Aggiornamenti in Radioprotezione: personale classificato

Dott. Pier Luca Rossi

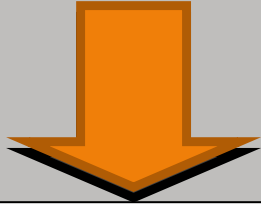
U.O. Fisica Sanitaria

Alma Mater Studiorum - Università di Bologna

Viale Berti Pichat 6/2 - 40127 Bologna



Quadro normativo nazionale



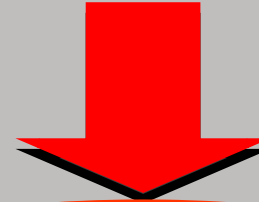
D.Lgs. 81/2008



*Potenziali fonti di rischio
CAPO VIII
agenti fisici*

Art. 180. Definizioni e campo di applicazione

1. Ai fini del presente decreto legislativo per agenti fisici si intendono il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche, di origine artificiale, il microclima e le atmosfera iperbariche che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.
2. Fermo restando quanto previsto dal presente capo, per le attività comportanti esposizione a rumore si applica il capo II, per quelle comportanti esposizione a vibrazioni si applica il capo III, per quelle comportanti esposizione a campi elettromagnetici si applica il capo IV, per quelle comportanti esposizione a radiazioni ottiche artificiali si applica il capo V.
3. La protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230, e sue successive modificazioni.



*Decreto Legislativo 230/95
Decreto Legislativo 241/00
Decreto Legislativo 257/01*

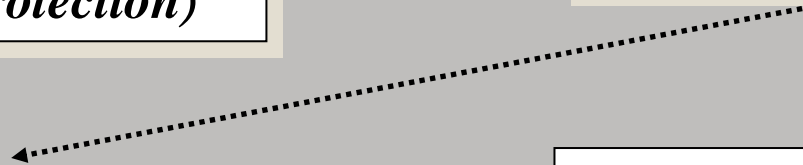
CHI "SCRIVE" IL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA DI RADIOPROTEZIONE?

ORGANISMO

COSA EMANA

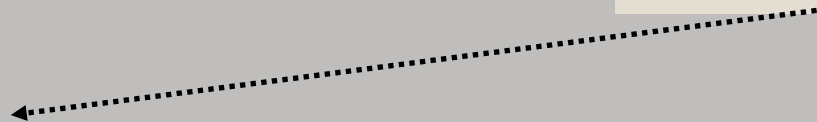
I.C.R.P.
*(International Commission on
Radiological Protection)*

RACCOMANDAZIONI
(Report 60 del 1990)



EURATOM

DIRETTIVE
(96/29 e 97/43)



**LEGISLATORE
NAZIONALE**

DECRETI LEGISLATIVI



Publicazione ICRP 103

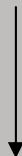
**RACCOMANDAZIONI 2007
DELLA COMMISSIONE INTERNAZIONALE
PER LA PROTEZIONE RADIOLOGICA**

Adottate dalla Commissione nel marzo 2007



.. cambierà il quadro normativo italiano, ma in anni

Di cosa parliamo?



RADIOPROTEZIONE



disciplina il cui scopo è quello di ottimizzare
il rapporto RISCHI/BENEFICI associati ad
una PRATICA RADIOLOGICA

ridurre i RISCHI

aumentare i BENEFICI

Un po' di lessico "legal-burocratico..."

*attività umana che è suscettibile di aumentare l'esposizione degli **individui** alle radiazioni provenienti da una **sorgente artificiale**, o da una **sorgente naturale di radiazioni***

PRATICA RADIOLOGICA = Sorgente + Campo + **Attività lavorativa**



... anche la semplice DETENZIONE è considerata attività lavorativa!!

NOTA IMPORTANTE:

La detenzione senza utilizzo non è più vista con grande
"benevolenza" dal legislatore

(D. Lgs. 52/07 – Sorgenti ad alta attività)



**NECESSITA' DI CONSIDERARE IN FASE D'ACQUISTO
ANCHE LE SPESE PER IL FUTURO SMALTIMENTO!!!**

RADIOPROTEZIONE: per chi?



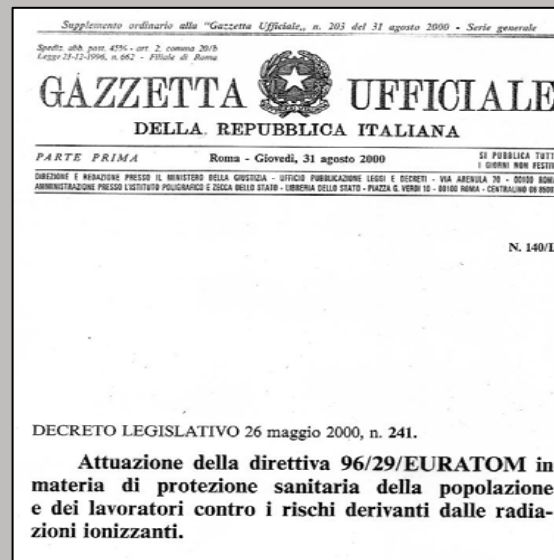
POPOLAZIONE



LAVORATORI



PAZIENTI



OPERATIVAMENTE . . .



- tipo
- caratteristiche
- proprietà

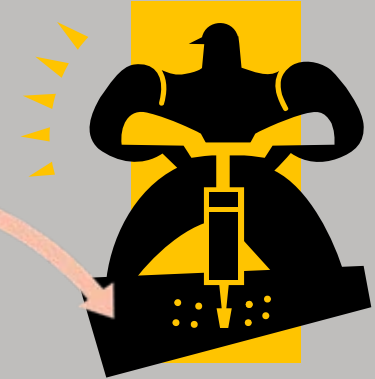
Sorgente

**Campo di
radiazione**

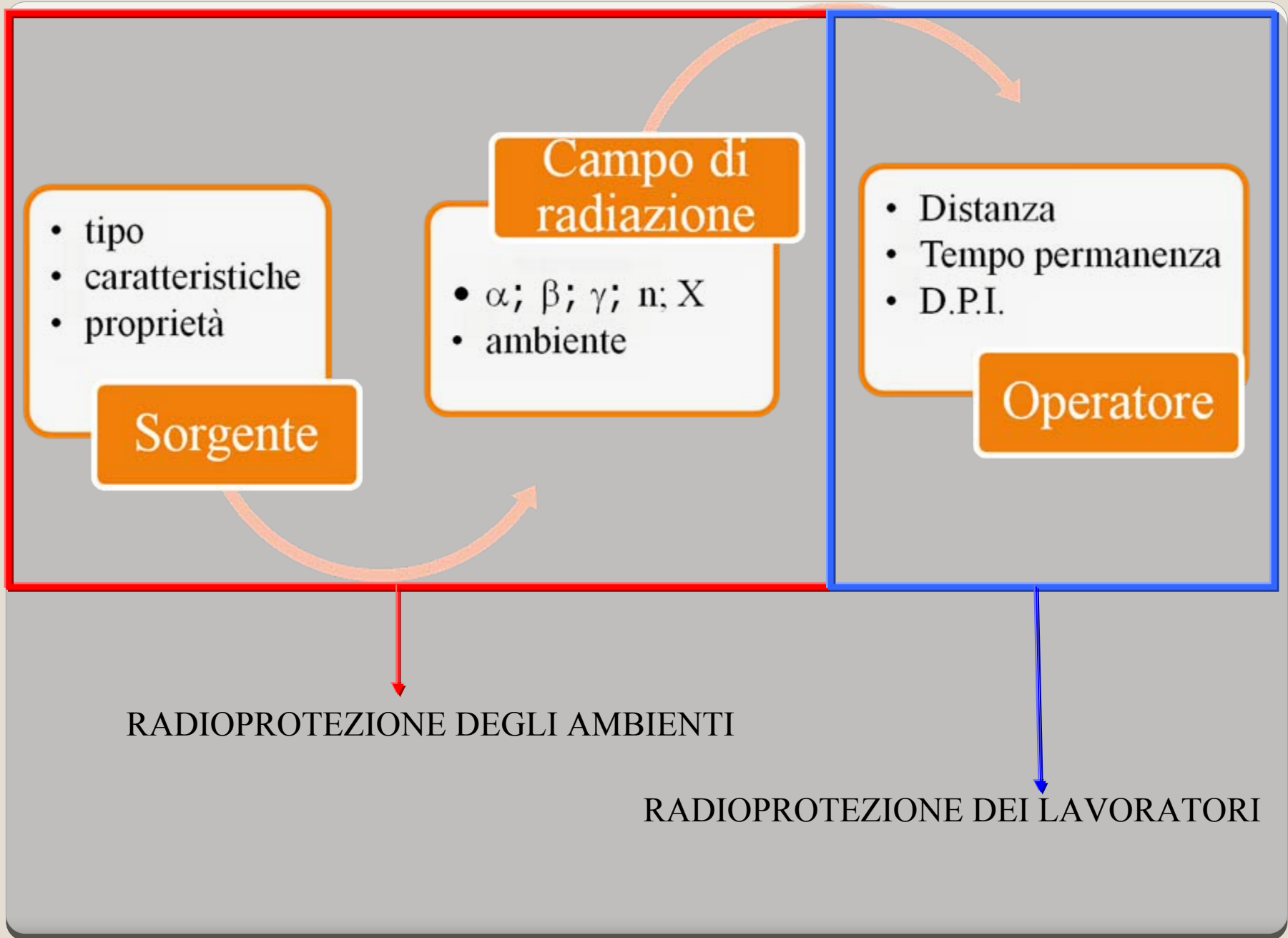
- α ; β ; γ ; n; X
- ambiente

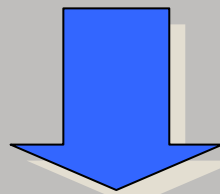
- Distanza
- Tempo permanenza
- D.P.I.

Operatore



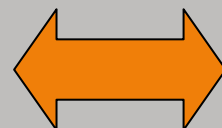
PER OGNI SITUAZIONE DI RISCHIO DA R.I.!!!





D. Lgs. 230/95 s.m.i.

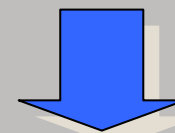
Radioprotezione degli ambienti



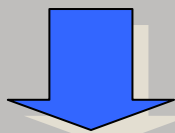
Radioprotezione degli operatori



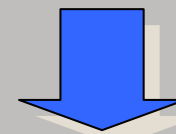
➤ **Esperto Qualificato**
U.O. Fisica Sanitaria



➤ **Esperto Qualificato**
U.O. Fisica Sanitaria
➤ **Medico addetto alla sorveglianza medica**
U.O. Medicina del Lavoro

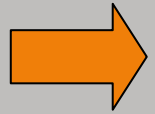


Classificazione delle aree



Classificazione dei lavoratori

PARTIAMO DALLO SCHEMA PRECEDENTE...



Caratteristiche della sorgente

Materiale radioattivo



Apparecchio RX

Tipo di decadimento

Spettro RX

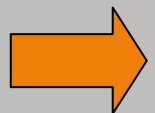
Attività della sorgente

Rendimento

*Emissione
(Isotropa)*

*Emissione
(Direzionale)*

... per definire il campo di radiazione a cui l'operatore sarà esposto



Caratteristiche del campo

Materiale radioattivo



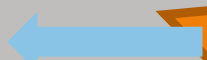
Distanza



Schermi



*Tempo + numero
manipolazioni*



Apparecchio RX



Distanza



Barriere



*Tempo +
numero "scatti"*

... per definire le condizioni di lavoro a cui l'operatore sarà esposto

... ed in Ateneo?

QUALI (... e quante) PRATICHE IN ATENEO?

Apparecchi RX

37 apparecchi RX per pazienti umani

10 apparecchi RX per pazienti animali

40 apparecchi RX tra XRF;
diffrattometri; apparecchi prototipali

Fascio RX libero

Laboratori RIA

~ 30 laboratori RIA

^3H (trizio)

^{14}C (carbonio-14)

^{125}I (iodio-125)

^{32}P (fosforo-32)

Cerchiamo di analizzare 2 casi

Laboratorio RIA con ^{32}P e sorgente
calibrazione di ^{137}Cs

Apparecchio RX posto in un laboratorio

... valutando i RISCHI associati per chi vi opera ...

Quando?

PREVENTIVA

DURANTE L'ATTIVITA'

STIMA PERSONALIZZATA DEL RISCHIO

R01/FsSan Rev. 1
ALMA MATER STUDIOBOLIM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
Servizio di Fisica Sanitaria
Data di applicazione: 01/07/05
Pag. 1/2

SCHEDA DI RADIOPROTEZIONE

Personale dipendente ed equiparato ai sensi del Capo VIII D. Lgs. 230/95 s.m.i.

RELATIVA AL LAVORATORE.....

A cura del Lavoratore: Cognome e Nome:
Luogo e data di nascita: Sesso M F
Domicilio:
Recapito Telefonico: E-mail:
Altre attività con rischio da R.I. (radiazioni ionizzanti) svolte contemporaneamente a quella per conto della struttura di appartenenza (art. 68, comma 2, D.Lgs. 230/95 s.m.i.):
Precedenti esposizioni lavorative (dipendente e/o autonomo) successive al 01/01/1996:
➤ Dal al presso
➤ Dal al presso
Firma del lavoratore: Data:

A cura della Direzione della Struttura: Responsabile:
Recapito Telefonico:
Qualifica Lavoratore: Data di assunzione (se dipendente):
Destinazione lavorativa: Mansioni:
Firma del Responsabile della Struttura: Data:

A cura del Responsabile dell'Attività: Responsabile:
Recapito telefonico (per eventuali necessità):
Descrizione particolareggiata dell'attività con rischio da R.I.: continua nel retro
Firma del Responsabile dell'Attività: Data:

Classificazione del lavoratore a cura dell'Esperto Qualificato

LAVORATORE ESPOSTO - CATEGORIA A
CATEGORIA B SEGUONO ANNOTAZIONI NEL RETRO
LAVORATORE NON ESPOSTO

Firma dell'Esperto Qualificato: Data:

NOTE: In caso di variazioni ai dati sopra riportati dovrà essere compilata la relativa scheda di variazione di qualifica e/o attività. La cancellazione o variazione di attività andranno comunicate PREVENTIVAMENTE.
Per il lavoratore classificato ESPOSTO, l'attività potrà essere iniziata SOLO DOPO che il MEDICO ADDETTO ALLA SORVEGLIANZA MEDICA avrà provveduto a formulare il giudizio d'idoneità.

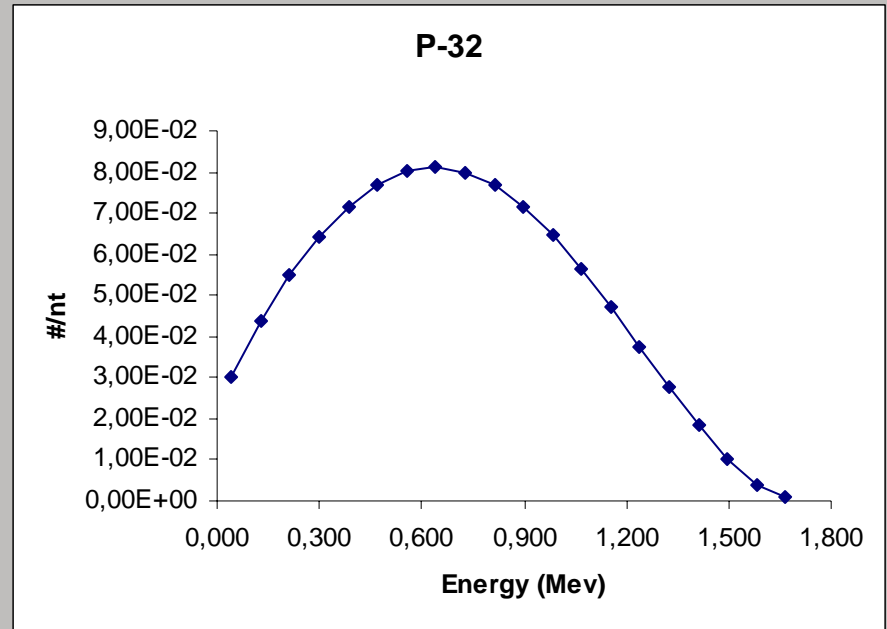
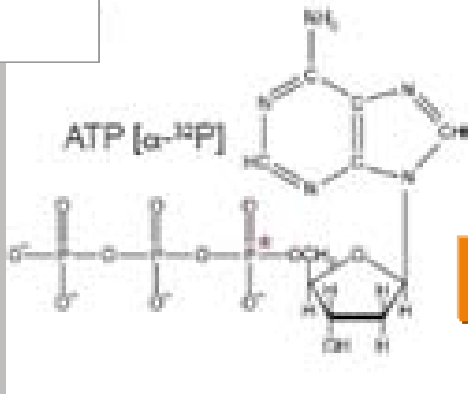
Dati anagrafici del lavoratore: da indicare eventuali esposizioni pregresse

A cura del DIRETTORE con indicata chiaramente la destinazione e la mansione del lavoratore

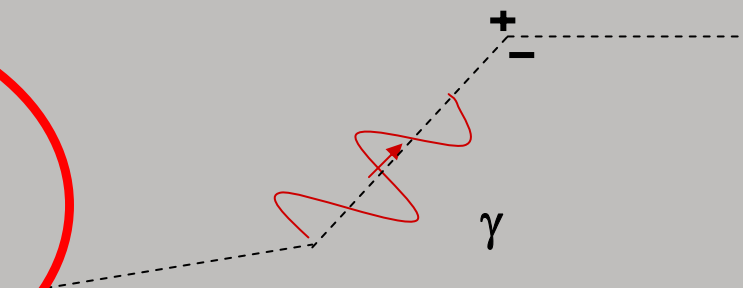
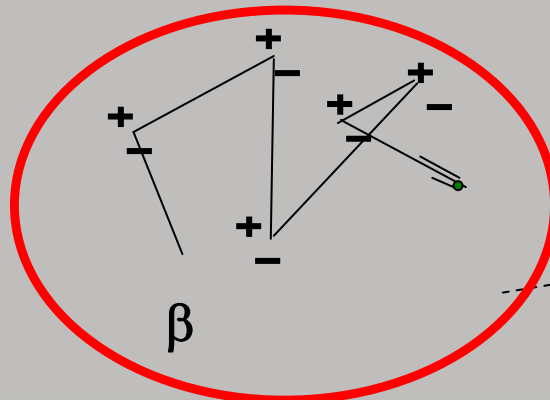
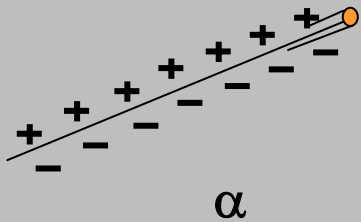
A cura del Responsabile dell'attività con rischio di R.I.

A cura dell'Esperto Qualificato

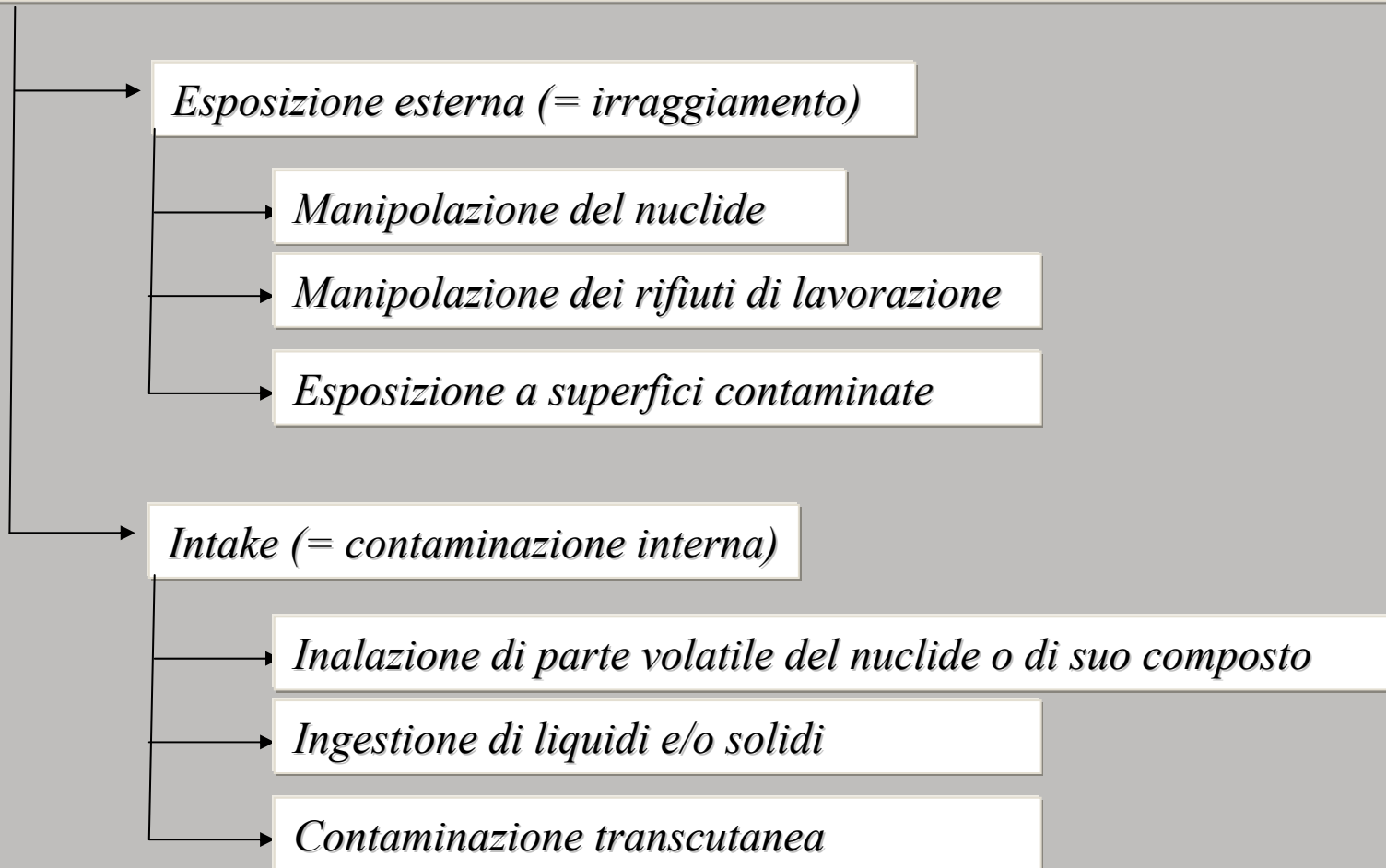
Spettro fosforo



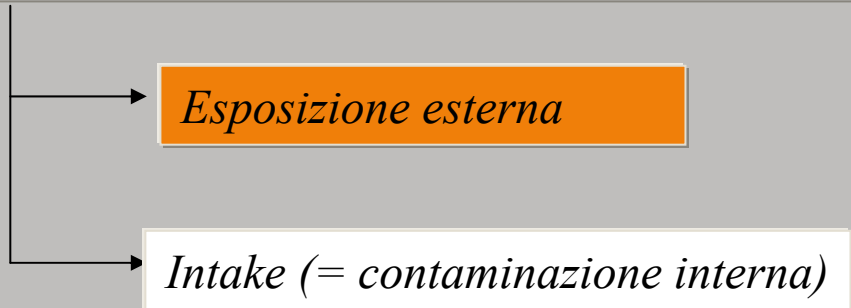
TIPI DI PERCORSI NELLA MATERIA



... quindi, possibili vie di “esposizione” ...



... quindi, possibili vie di “esposizione” ...



Stima di dose cute per emettitori beta

$$H_{T(skin)} = \frac{C_{skin} \cdot t}{SF_{Beta}} \cdot CF_{Beta-skin}$$

dove

$H_{T(skin)}$ = Dose equivalente alla cute [μGy]

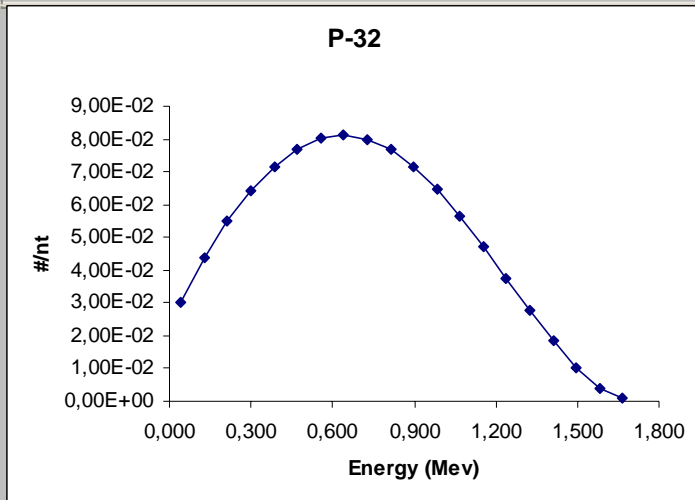
C_{skin} = Conc. Superficiale media del nuclide in pross. cute (e/o vestiti) [Bq/cm^2]

$CF_{Beta-skin}$ = Fattore di conversione tipico del nuclide [$(\mu\text{Gy}/\text{h})/(\text{Bq}/\text{cm}^2)$]

SF_{Beta} = Fattore di schermatura (anche per indumenti: se leggeri:3-5, se pesanti anche 1000)

t = Tempo d’esposizione [h]

... nel caso di nostro interesse (^{32}P)



$$E_{max} = 1.709 \text{ MeV}$$

$$E_{media} = 0.69 \text{ MeV}$$

$$CF \approx 1.9$$

Energia sufficiente a depositare
dose in profondità per
irraggiamento (in particolare,
cute) con valori dell'ordine di
200 $\mu\text{Sv/h}$ per sorgente liquida
da 1 MBq a contatto

$$\lambda_{aria} = 790 \text{ cm}$$

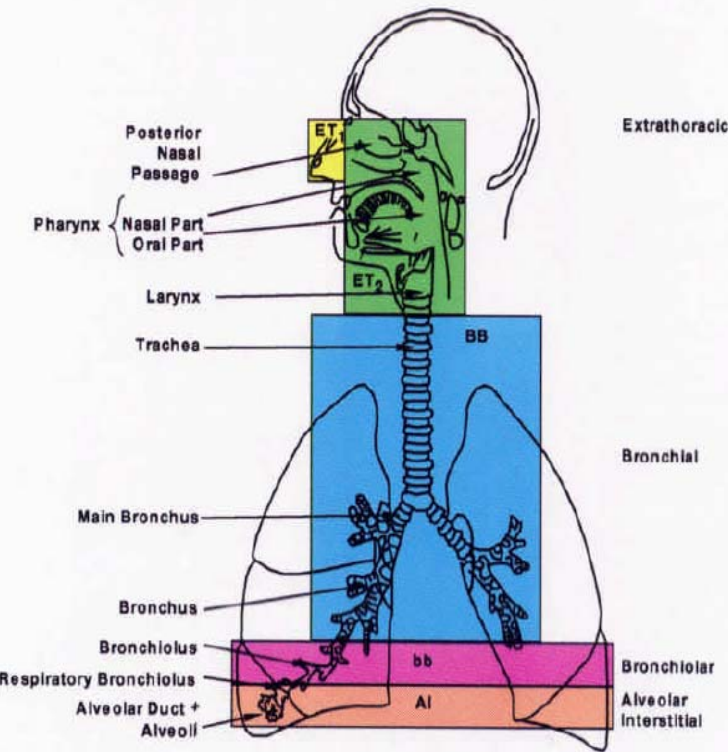
$$\lambda_{acqua} = 0.8 \text{ cm}$$

Per ridurre la dose al corpo, manipolazione dietro schermo in plexiglass
(ca. acqua equivalente, quindi se spessore $> 1 \text{ cm}$
probabilità di avere β trascurabile)

... ma se si verifica intake di (^{32}P)?

Circa il 70% del fosfato inalato (classe di assorbimento M) viene rapidamente eliminato attraverso le vie respiratorie, il sistema digerente (frazione di riassorbimento $f_1=0,8$) e le vie urinarie. Il fosfato che raggiunge la circolazione sanguigna viene riassorbito per il 70% circa dai tessuti molli e dal tessuto osseo. La permanenza di questa frazione è determinata dal tempo di dimezzamento fisico e dall'eliminazione relativamente rapida dai tessuti molli per via urinaria (tempo di dimezzamento biologico: 19 giorni).

Anatomical Regions of the Respiratory Tract



MONDAL Ver. 2.01

File Setup Tools Help

Radionuclide / Intake route and Subject

Radionuclide **P-32** 14.3 d beta(0.69MeV)100%

Inhalation by Workers Inhalation by Members of the Public

Ingestion by Workers Ingestion by Members of the Public

AMAD or Age / Type or f1

AMAD **5 micron(default)**

Absorption Type **Type M**

Some phosphates: determined by combining cation

Mode of Intake

Acute Chronic Uneven Chronic

Measurement

Measurement **Whole body** Graph

Period of intake days

Measured at **5** days after last intake

Measured activity **37000** Bq

Working hours Calculation

Result

Fraction at measurement day **2,33E-01** Bq/Bq

Activity of intake **1,6E+05** Bq

Effective dose **4,6E-04** Sv

Modello tratto respiratorio ICRP

... nel caso di nostro interesse (^{137}Cs)

Cesium-137

Part 1 – Radioactive Material Identification

Common Names:	Cesium-137	Chemical Symbol:	Cs-137 or ^{137}Cs
Atomic Number:	55	Mass Number:	137 (82 neutrons)
Chemical Form:	Cesium chloride	Physical Form:	A pellet of cesium ceramic housed in a welded stainless steel capsule

Part 2 – Radiation Characteristics

Physical half-life: 30.22 years Specific Activity (GBq/g): 3,220

Principle Emissions	E_{Max} (keV)	E_{eff} (keV)	Dose Rate ($\mu\text{Sv/h/GBq}$ at 1m)	Shielding Required
Beta* (β)	511 (94.6%)	157	-	-
Gamma (γ) / X.Rays	662 (89.9%)	-	103^a	HVL Lead: 0.65 cm
Alpha (α)	-	-	-	-
Neutron (n)	-	-	-	-

* Where Beta radiation is present, Bremsstrahlung radiation will be produced. Shielding may be required.

Note: Only emissions with abundance greater than 10% are shown.

^a The Health Physics and Radiological Health Handbook, Scintra, Inc., Revised Edition, 1992

Progeny: Barium-137m (Ba-137m)

Calcolo di dose non per β , ma per γ

$$E_{\text{point}} = \frac{A \cdot CF_{\text{point}} \cdot t}{d^2} \longrightarrow E_{\text{point shielded}} = E_{\text{point}} \times (0.5)^{\text{thickness} / \text{HVL}}$$

Radionuclide CF_{point}
(mSv . m²)/(kBq . h)

Cs-134	1.6E-07
Cs-136	2.2E-07
Ba-137m	6.2E-08
Cs-137+Ba-137m	6.2E-08
Ba-133	4.1E-08
Cs-138	3.0E-09



Supponendo una sorgente non schermata da
370 kBq con permanenza di 1 h a 30 cm



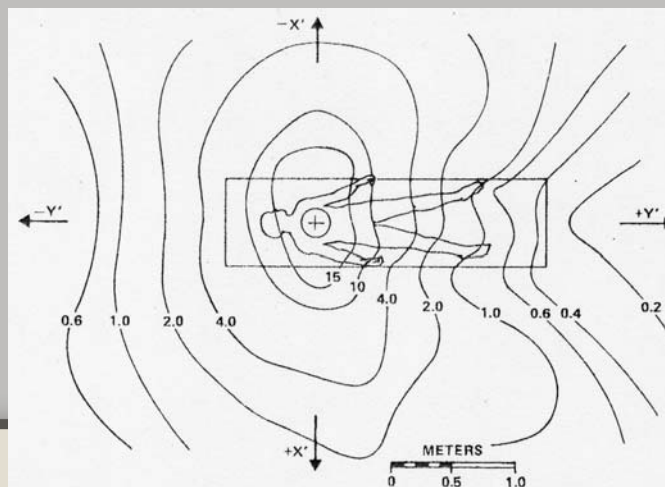
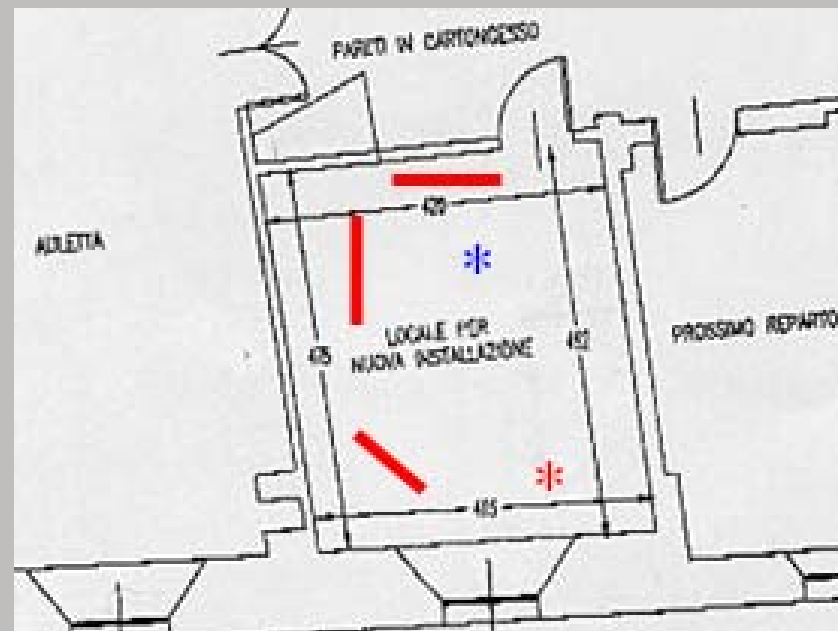
$E \approx 0.4 \mu\text{Sv}$



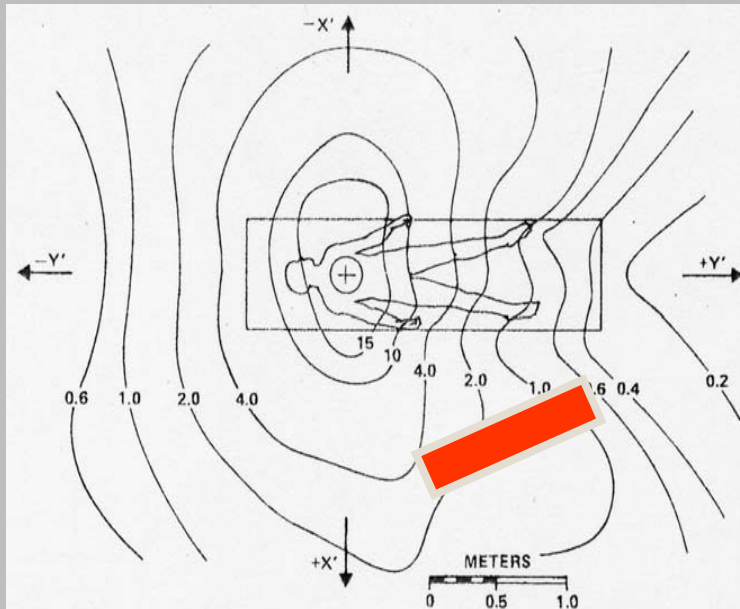
Dose all'operatore si ottiene moltiplicando
per il numero di esperimenti/anno

Radionuclide	Half Value Layer (cm)				
	Lead	Iron	Al	Water	Concrete
Cs 137+Ba 137m	0.53	1.19	3.35	8.2	3.77

Nel caso di apparecchio RX



Barriera



Spessore in mm Pb	Kv di picco		
	50	75	100
0.25 mm	250	20	10
0.50 mm	10000	200	50
1 mm	>10000	3000	300
2 mm	>>10000	>>10000	5000

I Dispositivi di Protezione Individuale (D.P.I.)



camice piombato



collarino tiroideo



indicatore di spessore Pb

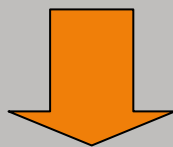


occhiali con vetro piombato

*Camice da 0.5 mmPb:
attenuazioni percentuali in
termini di Φ (h ν)*

Tensione (kV)	Attenuazione %
60	99.7
80	98.2
100	96.5
120	95.2

DOSIMETRIA AMBIENTALE



Distanza
nota



Banco
di
lavoro

Contatto
superficie
di lavoro



INFORMAZIONI SU:

- *Contaminazioni presenti sulle superfici*
- *Curve d'isodose*
- *Modelli di calcolo*

CONSIDERAZIONE (forse banale...)



Se i calcoli teorici sono giusti ...



... se l'attività dichiarata corrisponde a quella eseguita ..



... e se le misure sono corrette ...

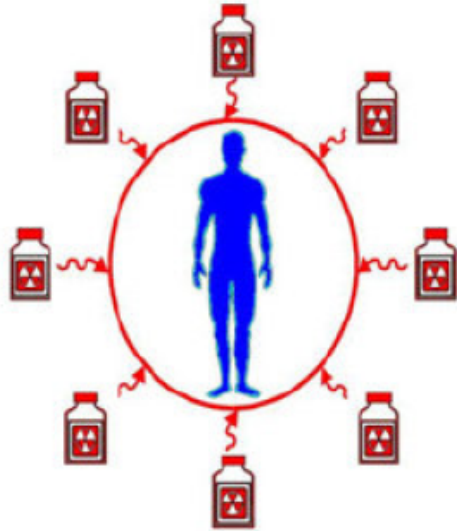
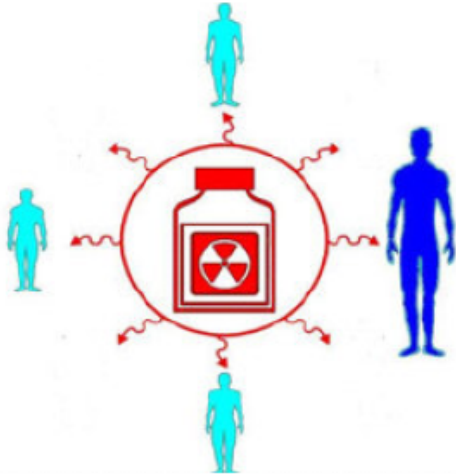


**DOSIMETRIA AMBIENTALE INFORMA
ANCHE SULLE DOSI AGLI OPERATORI**



A COSA SERVONO I DOSIMETRI PERSONALI?

.. se già considerassimo ICRP 103 ...

Limiti di Dose	Vincoli e Livelli di Riferimento
Proteggere i singoli lavoratori dall'esposizione lavorativa e la Persona Rappresentativa dall'esposizione del pubblico	
	
Da tutte le sorgenti regolamentate nelle situazioni di esposizione programmata	Da una sorgente in tutte le situazioni di esposizione

DOSIMETRIA AMBIENTALE E CONTROLLO DELLE ZONE SAREBBE ...

LIMITI DI DOSE

(da Allegato III e IV del D. Lgs. 241/00)

	<i>Effetti stocastici</i>	<i>Effetti deterministici</i>		
	<i>Dose Efficace</i>	<i>Dose equivalente al cristallino</i>	<i>Dose equivalente alla pelle (media su 1 cm²)</i>	<i>Dose equivalente alle estremità</i>
Non Esposti <i>(quindi anche popolazione)</i>	$\leq 1 \text{ mSv}$	$\leq 15 \text{ mSv}$	$\leq 50 \text{ mSv}$	$\leq 50 \text{ mSv}$
Categoria B	$\leq 6 \text{ mSv}$	$\leq 45 \text{ mSv}$	$\leq 150 \text{ mSv}$	$\leq 150 \text{ mSv}$
Categoria A	$\leq 20 \text{ mSv}$	$\leq 150 \text{ mSv}$	$\leq 500 \text{ mSv}$	$\leq 500 \text{ mSv}$

CLASSIFICAZIONE DEL PERSONALE

... in generale

**LAVORATORE
CLASSIFICATO
ESPOSTO**

**LAVORATORE
CLASSIFICATO
NON ESPOSTO**

Entrambi possono venire a contatto con materiale radioattivo ma, ovviamente, in quantità, per tempi e/o modi diversi:

Diluizione della sorgente con prelievo dalla boccetta d'origine e marcatura di molecola

Trasporto della molecola marcata all'interno di vials e misura

CLASSIFICAZIONE DEL PERSONALE

... in generale

**LAVORATORE
CLASSIFICATO
ESPOSTO**

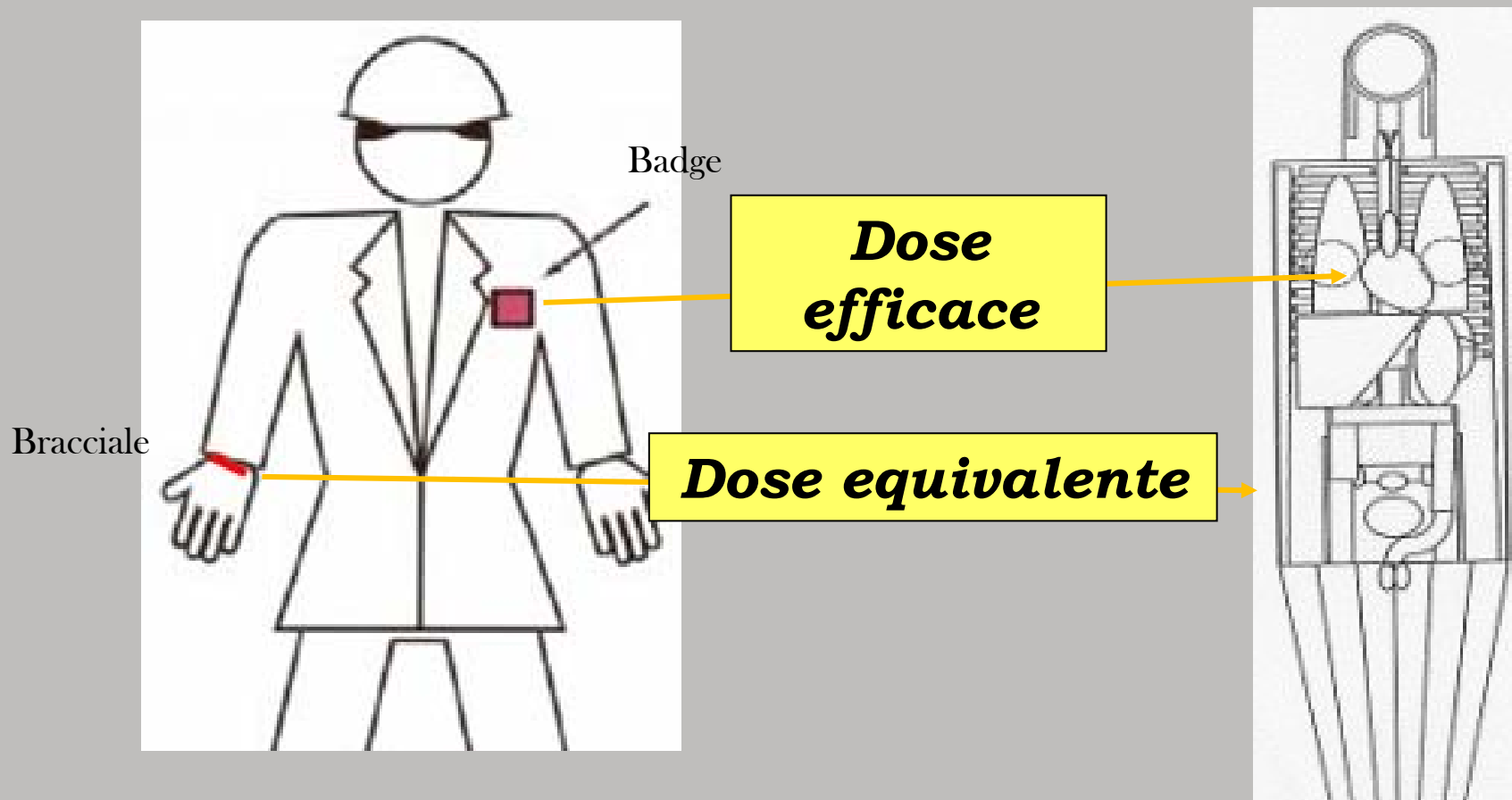
**LAVORATORE
CLASSIFICATO
NON ESPOSTO**

Entrambi possono utilizzare l'apparecchio RX ma, ovviamente, secondo modalità diverse:

Colui che è presente in sala durante procedure di radiologia interventistica

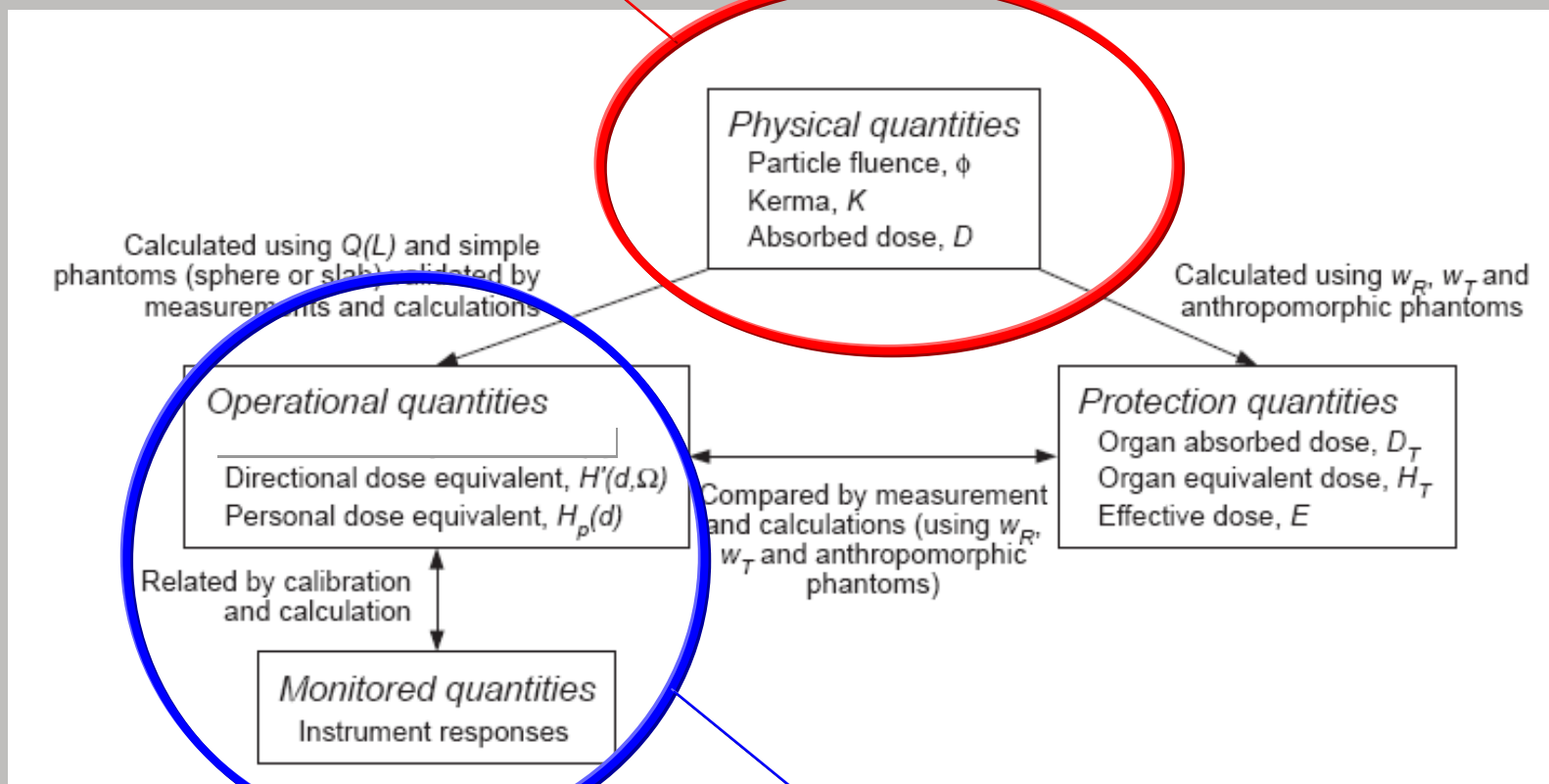
Colui che utilizza apparecchi RX a fascio blindato

DOSIMETRIA PERSONALE



Nota importante: rispettare le periodicità

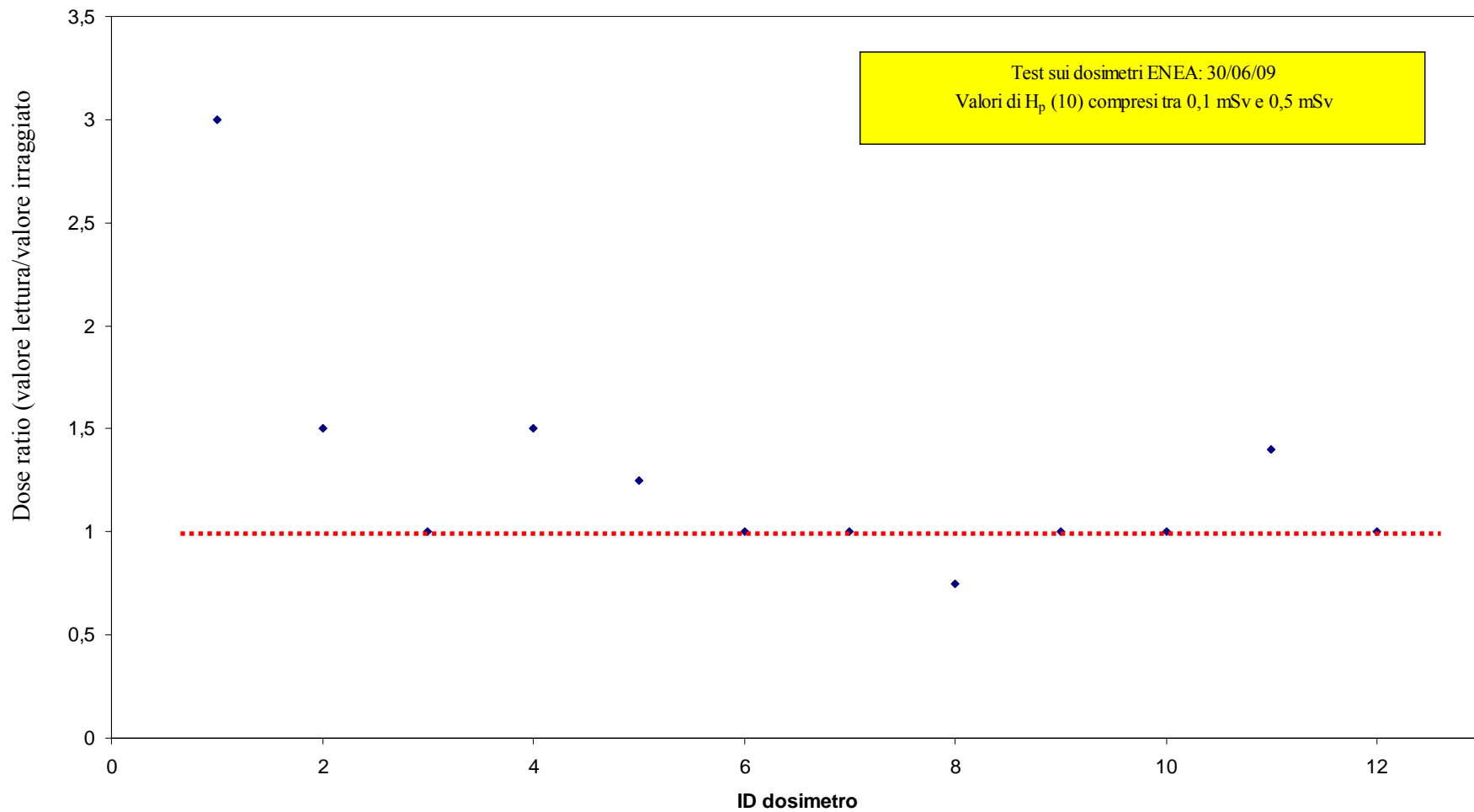
SORGENTE + CAMPO



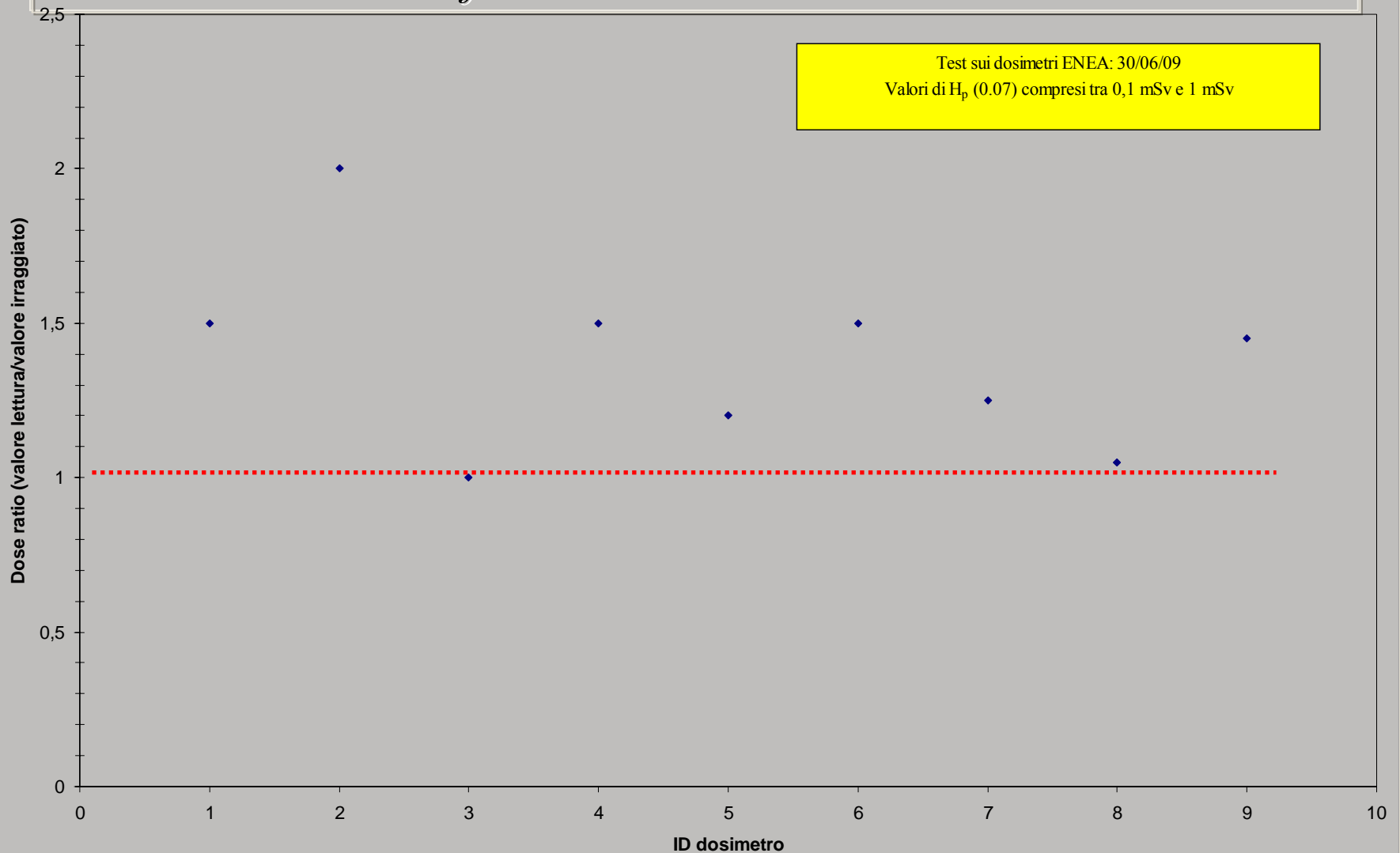
ATTIVITA' dell'operatore

*DOMANDA (assolutamente plausibile):
ma funzionano 'sti dosimetri?*

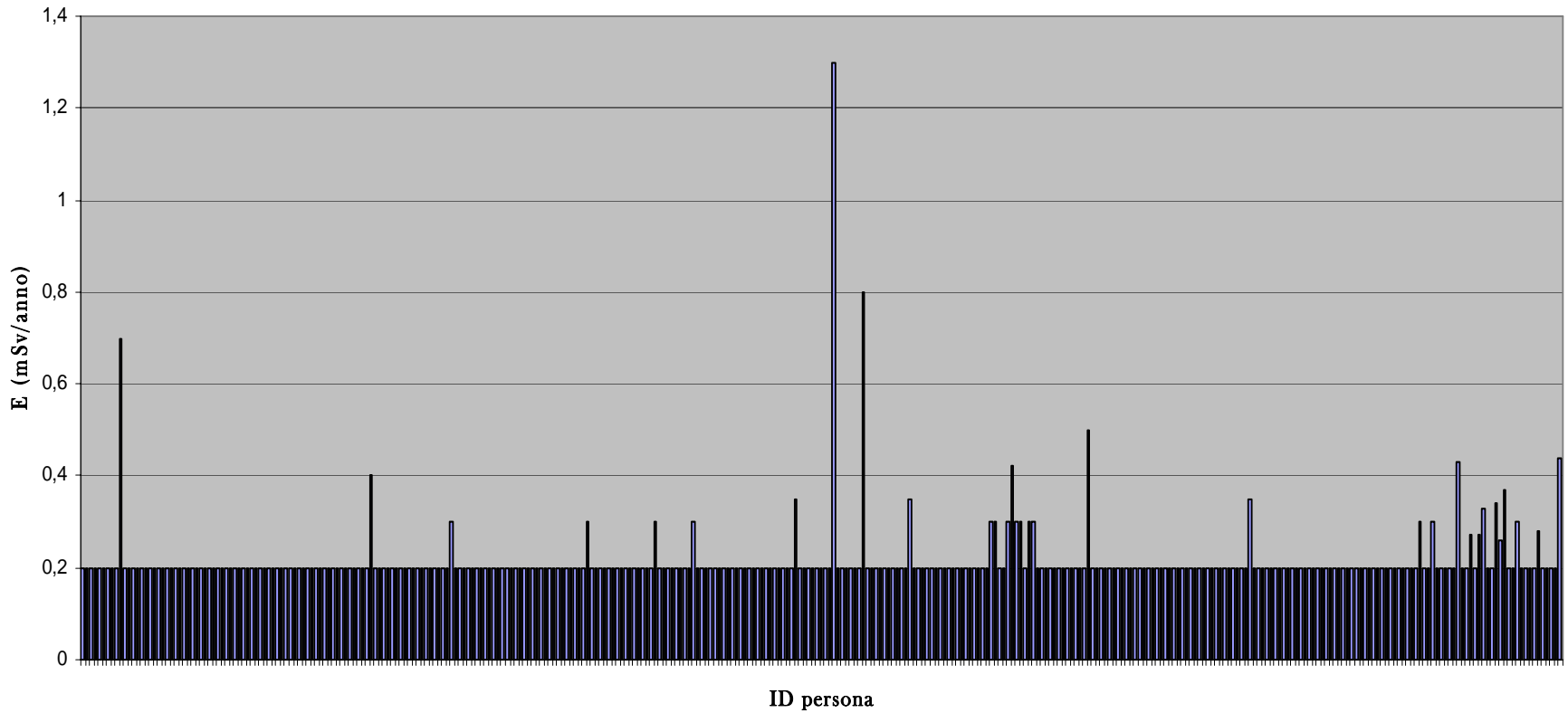
Dosimetri Badge (Hp 10)



*DOMANDA (assolutamente plausibile):
ma funzionano 'sti dosimetri?*

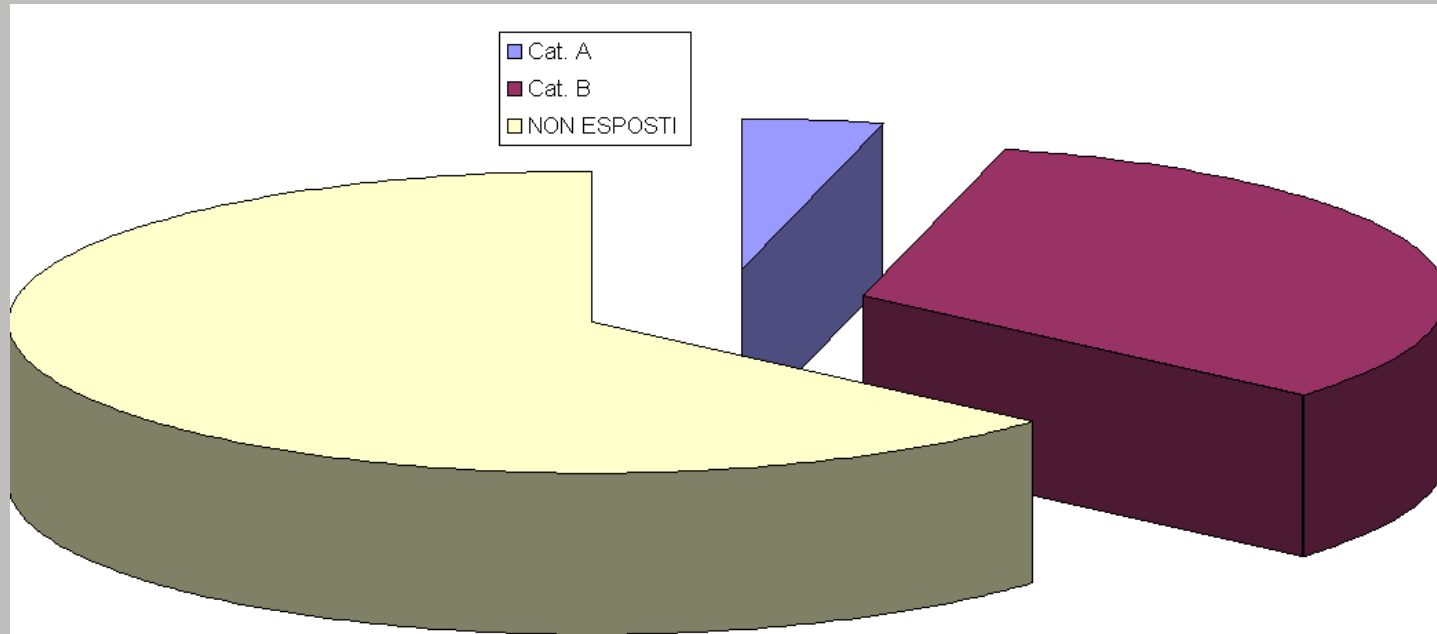


Dose efficace anno 2007



**Circa il 90 % degli operatori classificati
(~ 300 persone) ha ricevuto, per attività lavorativa, $E < 0.2$ mSv/anno**

PERSONALE CLASSIFICATO

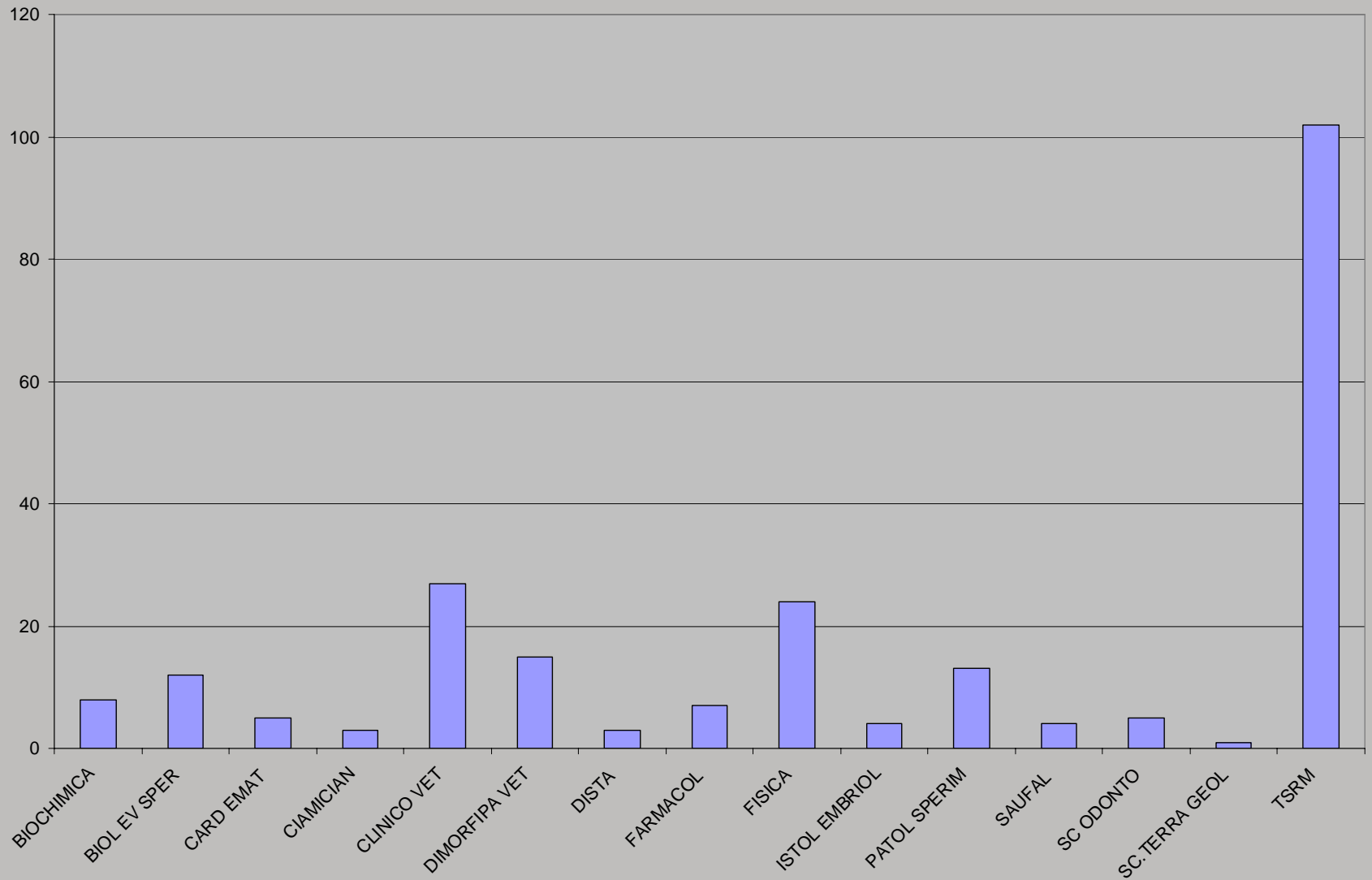


27 cat. A

232 cat. B

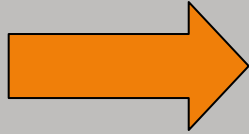
434 NON ESPOSTI

PERSONALE CLASSIFICATO





Azioni valide per tutte le pratiche...

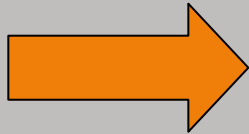


RADIOPROTEZIONE DEGLI OPERATORI

Stima "personalizzata" del rischio

Ove necessario, dosimetria personale

Formazione/info. sulle corrette modalità operative



RADIOPROTEZIONE DEGLI AMBIENTI

Classificazione delle aree

Gestione delle sorgenti

Ove necessario, gestione dei rifiuti

... in che misura si è esposti al rischio?



- COSA
- COME
- DOVE si svolge la propria attività lavorativa



... esiste la possibilità di ridurre i rischi?



- Presidi di Radioprotezione
 - Distanza
 - Tempo di permanenza
 - Schermi
- Norme Interne di Radioprotezione



NORME INTERNE DI RADIOPROTEZIONE

Laboratorio RIA

Alle seguenti norme si devono attenere scrupolosamente tutti coloro che, ragioni lavorative, sono autorizzati a manipolare o utilizzare sorgenti radioattive non sigillate

1. Le sostanze radioattive devono essere conservate nel frigo-cassaforte chiuso a chiave: in tale frigo non devono assolutamente essere presenti materiali non radioattivi né cibi o bevande. La chiave del frigo-cassaforte deve essere custodita dal Responsabile.
2. Su ogni contenitore di sostanza radioattiva deve essere presente una targhetta con indicate chiaramente: tipo di nuclide, attività presente e data di riferimento.
3. Le operazioni con materiale radioattivo non possono essere effettuate al di fuori delle zone individuate dall'Esperto Qualificato ad accesso consentito solo ad autorizzati. E' vietato manomettere la segnaletica presente in queste zone
4. Il personale autorizzato a manipolare ed utilizzare radioisotopi deve essere dotato di opportuni indumenti di lavoro (camici, guanti, ecc.) sostituibili se contaminati. Tutte le manipolazioni di sostanze radioattive devono essere effettuate con guanti monouso in plastica, ove non richiesti i guanti in gomma piombifera.
5. Nessun oggetto deve essere toccato con guanti da lavoro sospetti di essere contaminati.
6. Nessun effetto personale e/o cibo o bevanda deve essere introdotto nella stanza.
7. Tutte le operazioni che riguardano i kit (apertura dei flaconi, prelievi, diluizioni, ecc.) devono essere effettuate su vassoi che permettano il contenimento dei liquidi: tutte le superficie interessate devono essere lisce, ricoperte di fogli monouso di polietilene e/o carta assorbente, che dovranno essere eliminati come rifiuti radioattivi una volta terminata la manipolazione. Se possibile, è bene effettuare le operazioni dietro schermo di plexiglas.
8. Tutte le operazioni che riguardano composti fortemente volatili (come lo ^{125}I), devono essere effettuate sotto cappa aspirante al fine di ridurre la possibilità di contaminazione da inalazione.
9. I rifiuti radioattivi prodotti devono essere raccolti, etichettati (indicare la data, il tipo di nuclide e possibilmente l'attività) e riposti in appositi contenitori.
10. Al termine dell'attività lavorativa, il laboratorio deve essere accuratamente riordinato e ripulito. E' obbligatorio effettuare misure al fine di evidenziare eventuali contaminazioni di superfici, indumenti o altro.
11. E' vietato manomettere, rimuovere, spostare ogni indicazione e/o schermatura presente nella stanza.
12. E' obbligo dell'operatore segnalare tempestivamente al Responsabile ed all'Esperto Qualificato ogni deficienza e/o mancanza di cui venisse a conoscenza, che possa compromettere il livello di sicurezza.



PIANO D'EMERGENZA

Laboratorio RIA

In caso di spargimento di piccole quantità di radionuclidi (ordine di grandezza: kBq):

- ✓ asciugare accuratamente le superfici contaminate con carta assorbente, cotone o fazzoletti assorbenti ponendo attenzione a non lasciare cadere liquidi a terra (si consiglia di asciugare partendo dai bordi delle superfici verso il centro con movimenti non rotatori)
- ✓ raccogliere tutte le parti contaminate (assorbenti e liquidi eventualmente utilizzati compresi) e gettarli tra i rifiuti radioattivi
- ✓ gettare gli indumenti eventualmente contaminati tra i rifiuti radioattivi
- ✓ per l'operatore: lavare accuratamente, con sapone neutro, le mani ed, eventualmente, utilizzare uno spazzolino a setole morbide. Raccogliere l'acqua del lavaggio tra il materiale contaminato.

In caso di spargimento di grandi quantità di radionuclidi (ordine di grandezza: MBq):

- ✓ cessare ogni operazione con radionuclidi e spegnere l'impianto di ventilazione
- ✓ togliere gli indumenti contaminati e lasciarli in area contaminata
- ✓ indossare indumenti protettivi ed evitare ogni diffusione di contaminante, stendendosi carta assorbente sul liquido radioattivo
- ✓ interdire l'accesso alla zona contaminata, indicando chiaramente con cartelli o altro il divieto assoluto di accesso
- ✓ avvertire immediatamente il Responsabile e l'Esperto Qualificato per ogni successiva azione

In caso di incendio:

- ✓ senza mettere in pericolo la propria incolumità, cercare di rimuovere le sorgenti radioattive, allontanandole dalla zona d'incendio
- ✓ chiudere le porte dei depositi delle sostanze radioattive, allontanando ogni operatore presente
- ✓ avvertire immediatamente il Responsabile, i Vigili del Fuoco e l'Esperto Qualificato, indicando chiaramente dove si trovano i nuclidi e l'attività detenuta

**Esempio di tabella
con indicati i ratei
di dose per nuclidi
diversi**

dati AIRP

Radionuclide	Γ (R·m ² /h·Ci)	Rateo (mSv/h) a 30 cm da sorgente puntiforme di 1 MBq		Rateo (mSv/h) da sorgente piana infinita uniforme di 1 MBq/m ²						Rateo (mSv/h) dose pelle per contaminazione pelle	
		Dose pelle (beta, e)	Dose profonda (gamma, X)	Dose pelle (beta, e)		Dose pelle (gamma, X)		Dose profonda (gamma, X)		Deposizione uniforme di 1 kBq/cm ²	Goccia da 0.05 ml (1 kBq)
				a 10 cm	a 1 m	a 10 cm	a 1 m	a 10 cm	a 1 m		
C 11	0,591	1,35E-01	1,87E-03	1,20E-01	1,20E-02	7,00E-03	4,40E-03	6,60E-03	4,20E-03	1,95E+00	1,12E+00
C 14	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,20E-01	2,70E-03
Co 57	0,097	0,00E+00	2,52E-04	8,40E-06	0,00E+00	2,40E-03	2,00E-03	2,30E-03	2,00E-03	1,19E-01	1,62E-03
Co 60	1,298	1,26E-02	3,86E-03	2,60E-02	0,00E+00	1,60E-02	1,00E-02	1,50E-02	9,60E-03	7,84E-01	2,22E-01
Cr 51	0,016	0,00E+00	6,04E-05	0,00E+00	0,00E+00	2,10E-04	1,30E-04	2,10E-04	1,30E-04	1,49E-02	5,65E-04
Cs 137	0,323	2,13E-01	1,07E-03	9,00E-02	6,00E-03	3,90E-03	2,50E-03	3,70E-03	2,40E-03	1,57E+00	2,08E-01
Cu 64	0,124	5,92E-02	3,45E-04	3,50E-03	2,50E-05	1,30E-03	8,20E-04	1,20E-03	7,80E-04	1,00E+00	3,90E-01
Er 169	-	9,16E-03	0,00E+00	5,50E-02	0,00E+00	9,90E-09	6,00E-09	1,00E-08	6,00E-09	1,11E+00	2,84E-01
F 18	0,573	1,20E-01	1,81E-03	9,60E-02	5,30E-04	6,80E-03	4,30E-03	6,40E-03	4,10E-03	1,95E+00	7,88E-01
Fe 59	0,627	3,46E-02	1,86E-03	4,10E-02	0,00E+00	7,50E-03	4,90E-03	7,00E-03	4,60E-03	9,73E-01	3,01E-01
Ga 67	0,092	0,00E+00	2,79E-04	2,60E-04	0,00E+00	2,00E-03	1,60E-03	2,00E-03	1,60E-03	3,51E-01	4,17E-03
Ga 68	0,544	1,03E-01	1,73E-03	1,20E-01	4,50E-02	6,50E-03	4,10E-03	6,20E-03	3,90E-03	1,81E+00	1,25E+00
Ge 68/Ga 68	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
H 3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
I 123	0,065	0,00E+00	5,16E-04	8,40E-04	0,00E+00	3,00E-03	2,30E-03	2,90E-03	2,20E-03	3,78E-01	2,36E-02
I 125	0,004	0,00E+00	3,90E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,50E-03	9,50E-04	1,30E-03	8,10E-04	2,11E-02	6,30E-03
I 129	0,005	0,00E+00	1,90E-04	0,00E+00	0,00E+00	7,60E-04	4,90E-04	6,90E-04	4,40E-04	3,40E-01	2,70E-03
I 131	0,212	8,62E-02	7,29E-04	7,40E-02	1,50E-04	4,40E-03	3,40E-03	4,20E-03	3,30E-03	1,62E+00	5,72E-01
In 111	0,203	8,92E-05	9,94E-04	1,20E-02	0,00E+00	3,50E-03	2,10E-03	3,20E-03	1,90E-03	3,78E-01	6,48E-02
Ir 192	0,444	8,35E-02	1,54E-03	8,60E-02	3,00E-05	9,60E-03	7,50E-03	9,20E-03	7,20E-03	1,86E+00	6,50E-01
Mo 99	0,078	1,08E-01	5,43E-04	1,10E-01	1,80E-02	3,70E-03	2,90E-03	3,50E-03	2,80E-03	1,89E+00	9,96E-01
Ni 63	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
O 15	0,591	1,20E-01	1,87E-03	1,40E-01	5,10E-02	7,00E-03	4,50E-03	6,70E-03	4,20E-03	2,00E+00	1,40E+00
P 32	-	1,18E-01	0,00E+00	1,40E-01	4,80E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,89E+00	1,33E+00
P 33	-	0,00E+00	0,00E+00	4,90E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,65E-01	1,38E-01
Rb 86	0,05	1,12E-01	1,52E-04	1,30E-01	4,40E-02	6,10E-04	4,00E-04	5,70E-04	3,70E-04	1,89E+00	1,23E+00
Re 186	0,006	1,24E-01	4,28E-05	9,30E-02	1,10E-02	3,40E-04	2,90E-04	3,40E-04	2,90E-04	1,81E+00	9,08E-01
S 35	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,54E-01	4,05E-03
Se 75	0,202	0,00E+00	7,40E-04	8,80E-04	0,00E+00	7,40E-03	5,10E-03	5,20E-03	4,20E-03	1,43E-01	7,59E-03
Sm 153	0,072	1,03E-01	1,86E-04	9,00E-03	4,20E-04	1,10E-03	8,90E-04	1,10E-03	8,90E-04	1,62E+00	7,19E-01
Sr 89	<0,001	1,15E-01	2,27E-07	1,30E-01	3,90E-02	9,00E-07	5,90E-07	8,40E-07	5,50E-07	1,78E+00	1,21E+00
Tc 99m	1,067	0,00E+00	2,61E-04	2,30E-04	0,00E+00	9,00E-03	5,40E-04	8,50E-03	5,10E-04	2,46E-01	8,77E-03
Tl 201	0,008	0,00E+00	1,97E-04	1,40E-03	0,00E+00	1,00E-03	1,30E-03	1,60E-03	1,30E-03	2,70E-01	8,39E-03
Y 90	-	1,08E-01	0,00E+00	1,40E-01	6,10E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,03E+00	1,35E+00

DOSI MEDIE ALLA POPOLAZIONE DA SORGENTI NATURALI

(Dati Anno 2000)

Sorgente di esposizione	Dose efficace annuale (mSv)	
	Media	Intervallo tipico
<i>Radiazione cosmica</i> Componenti direttamente ionizzanti e fotoni Neutroni	0,28	
	0,10	
	0,01	
Totale	0,39	0,3-1,0
<i>Esposizione esterna alla radiazione terrestre</i> All'aperto In luoghi chiusi	0,07	
	0,41	
	0,48	
Totale	0,48	0,3-0,6
<i>Esposizione per inalazione</i> Serie dell'uranio e del torio Radon (Rn-222) Toron (Rn-220)	0,006	
	1,15	
	0,10	
	1,26	
Totale	1,26	0,2-10
<i>Esposizione per ingestione</i> K-40 Serie dell'uranio e del torio	0,17	
	0,12	
	0,29	
Totale	0,29	0,2-0,8
Totale	2,4	1-10

DOSI MEDIE ALLA POPOLAZIONE ITALIANA

(Dati Anno 2000)

