



MINISTERO DELL'INTERNO

DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE

Direzione Centrale per l'Emergenza ed il Soccorso Tecnico

Area VI - Controllo del Rischio NR e dell'impiego pacifico dell'Energia Nucleare

LE EMERGENZE RADIOLOGICHE E NUCLEARI:

PROBLEMATICHE RADIOPROTEZIONISTICHE,

OPERATIVE E LEGISLATIVE



ISTITUTO SUPERIORE ANTINCENDI

VIA DEL COMMERCIO 13 - ROMA

6-7 marzo 2008



RADIOCONTAMINAZIONE

G. Trenta

LE CONTAMINAZIONI D'INTERESSE CLINICO ED IGIENISTICO

- *Contaminazione umana*
- *Contaminazione floro-faunistica*
- *Contaminazione ambientale (aria, acqua, suolo)*

CONTAMINAZIONE UMANA

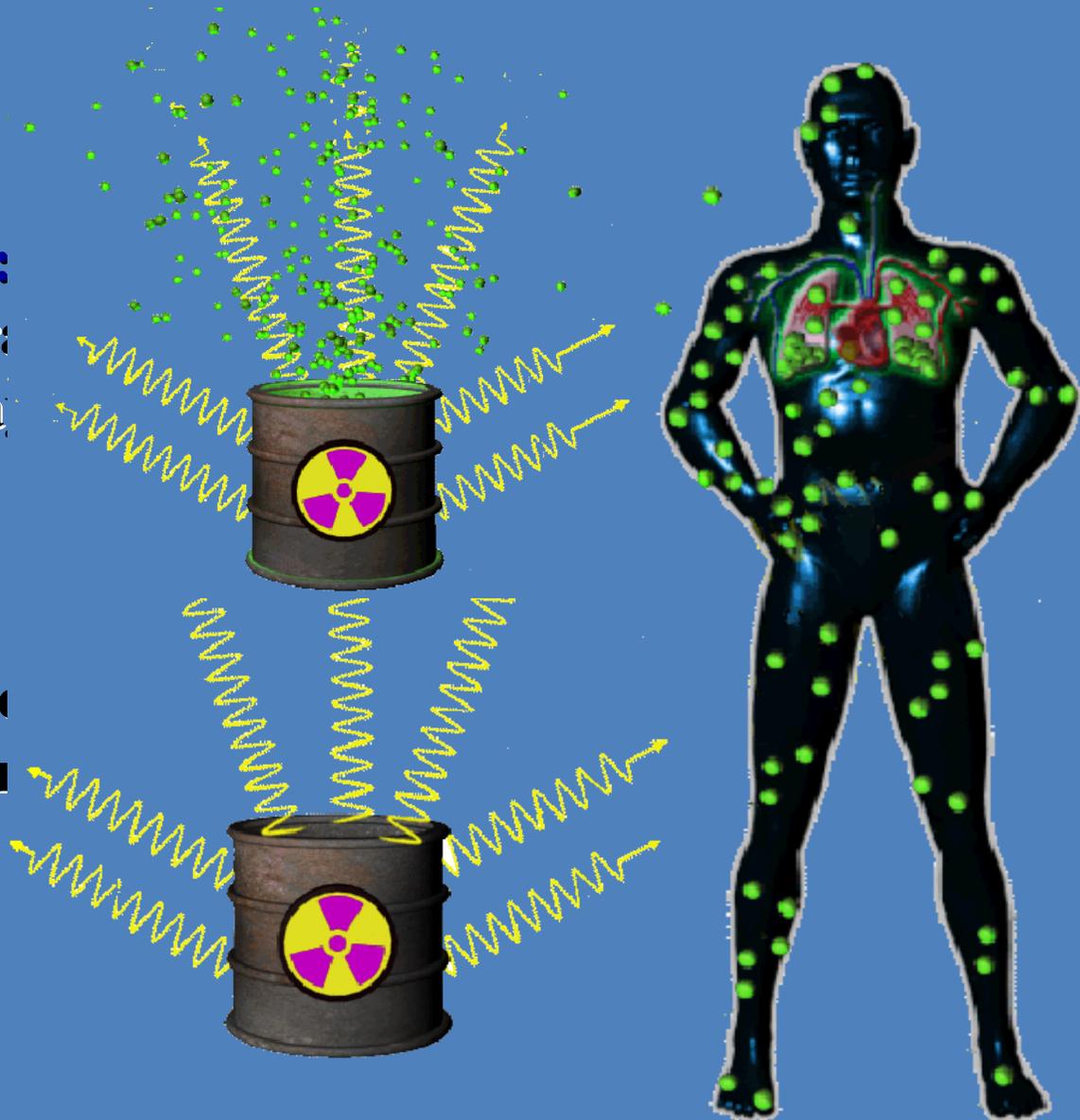
ESPOSIZIONE E CONTAMINAZIONE

Esposizione esterna:

Sorgente esterna → irradiazione
→ dose assorbita (Gy)

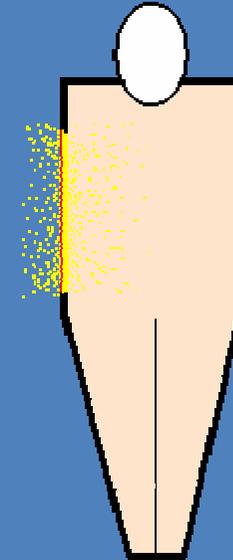
Contaminazione:

Il materiale radioattivo sulla
persona (**esterna**) o dentro
(**interna**) (Bq, Ci)



CONTAMINAZIONE UMANA

- *Contaminazione esterna*



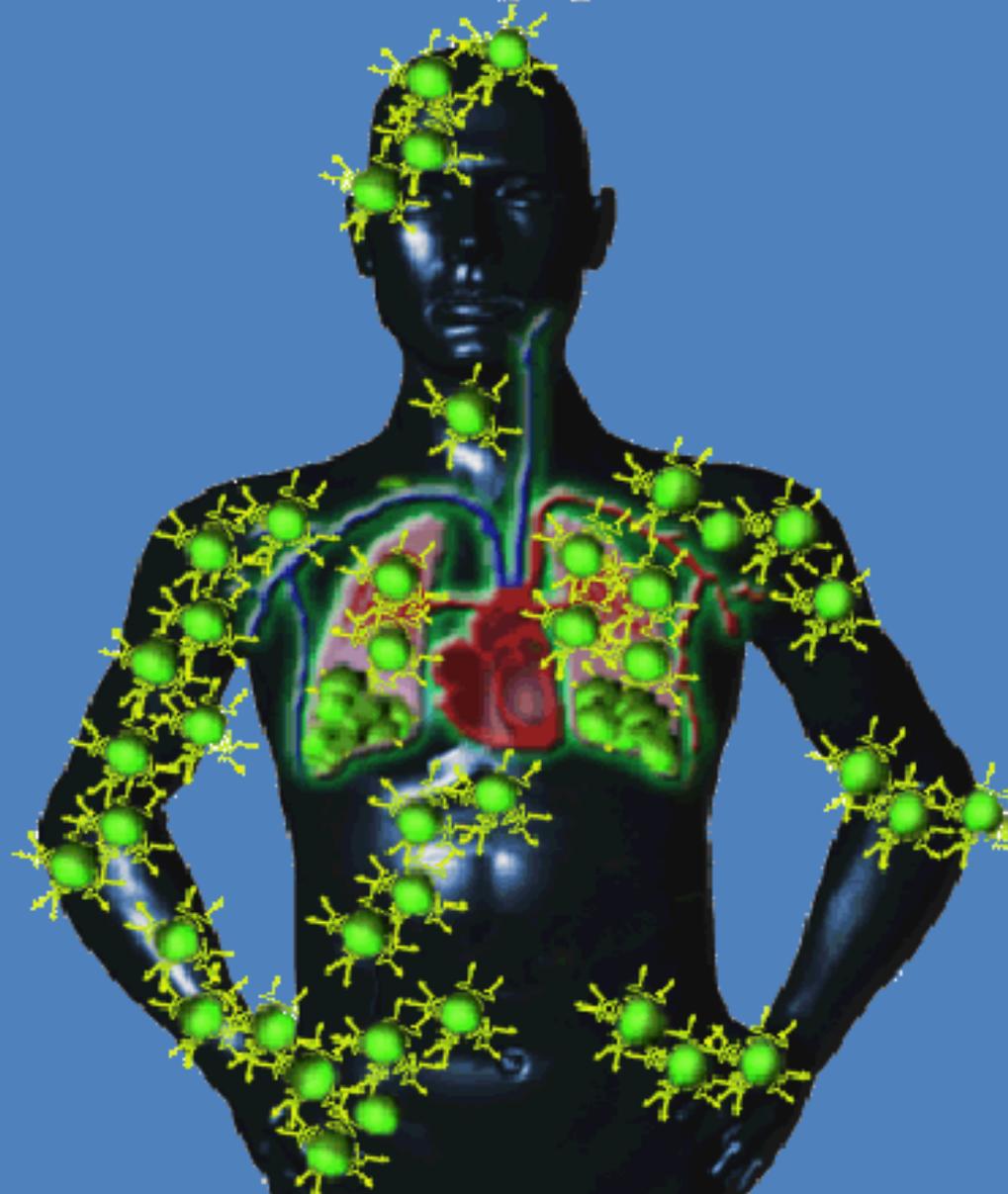
- *Contaminazione interna*



CONTAMINAZIONE



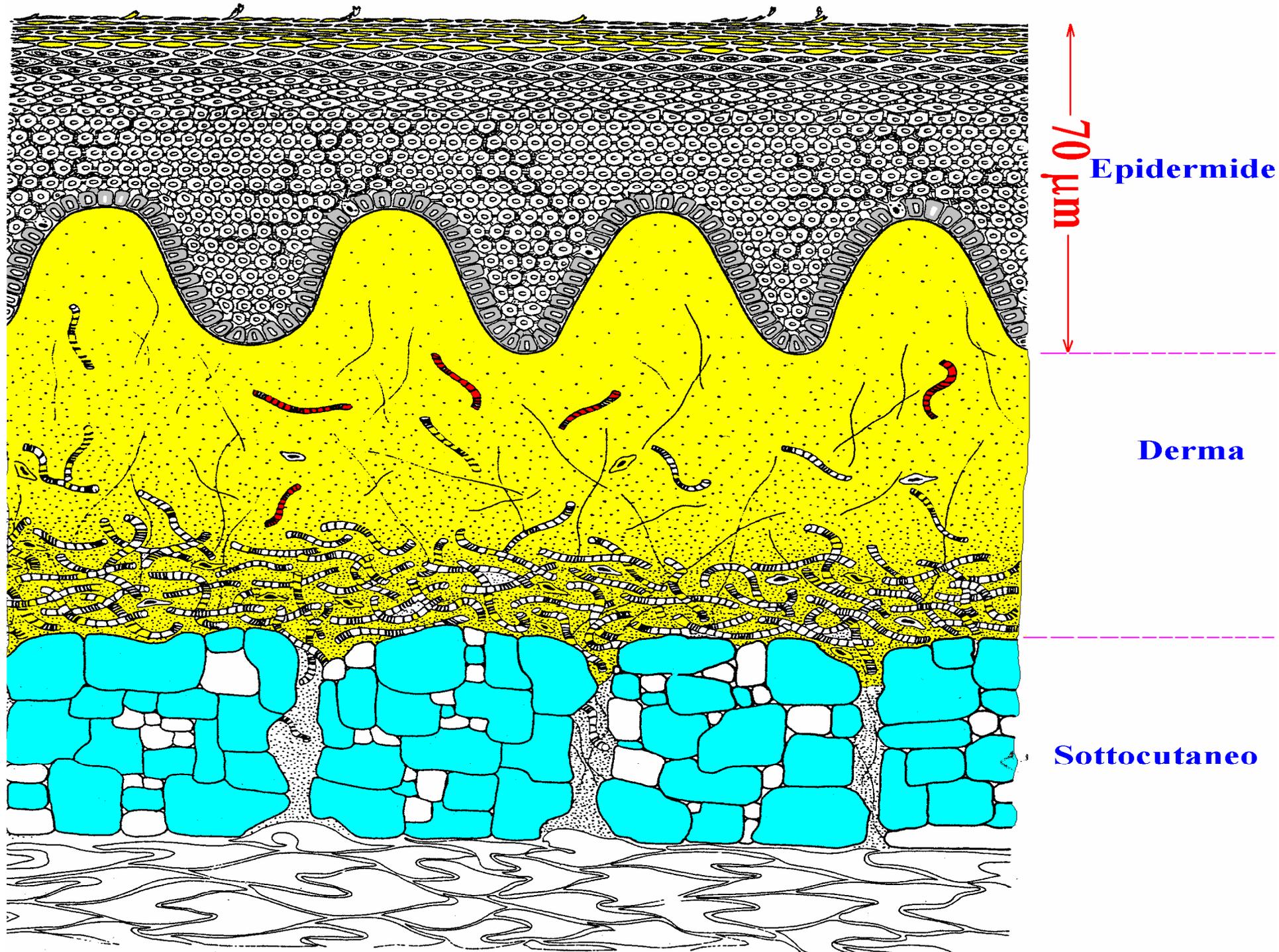
CONTAMINAZIONE ESTERNA E INTERNA



CONTAMINAZIONE ESTERNA

CONTAMINAZIONE ESTERNA

- *Cute integra*
- *Cute lesionata*



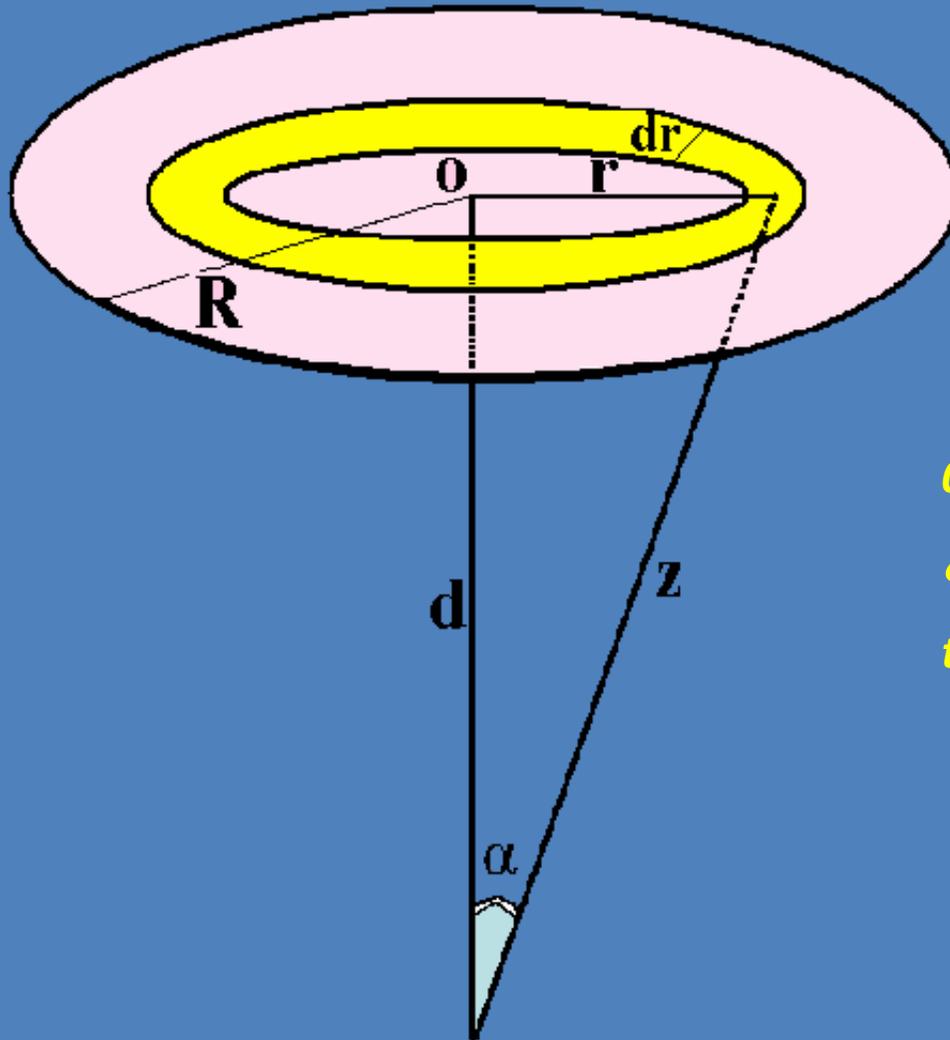
70 µm

Epidermide

Derma

Sottocutaneo

MODELLO DOSIMETRICO



$$H \cong 0,7 \cdot \delta \cdot t$$

0,7 fattore di conversione

δ contaminazione superficiale (kBq/cm²)

t tempo di permanenza (ore)

DECONTAMINAZIONE ESTERNA



CARATTERISTICHE CHIMICHE DEI RADIONUCLIDI

- **Trasferibili** = *solubili in ambiente biologico. Cationi di valenza I e II*

- **Non trasferibili** = *scarsamente solubili in ambiente biologico. Cationi di valenza III o maggiore*

TRATTAMENTO DELLA CUTE CONTAMINATA

- Cute integra
- *Disporre di adeguati strumenti di misura*
- *Accesso all'area solo al personale autorizzato*
- *Indossare guanti chirurgici e camice (eventualmente maschera)*
- *Togliere vestiario lentamente, con attenzione*
- *Raccogliere materiale contaminato in sacchi di p. v. c.*
- *Rilevare eventuali ferite o abrasioni*
- *Coprire le lesioni con cerotto impermeabile*
- *Rimuovere la contaminazione intorno agli orifizi (naso)*
- *Decontaminare con acqua e sapone raccogliendo il fluido di lavaggio*
- *Evitare che l'acqua di lavaggio penetri in orifizi*
- *Trattare con delicatezza, evitando lo sfregamento e l'arrossamento della pelle*
- *Eseguire nuova misura*

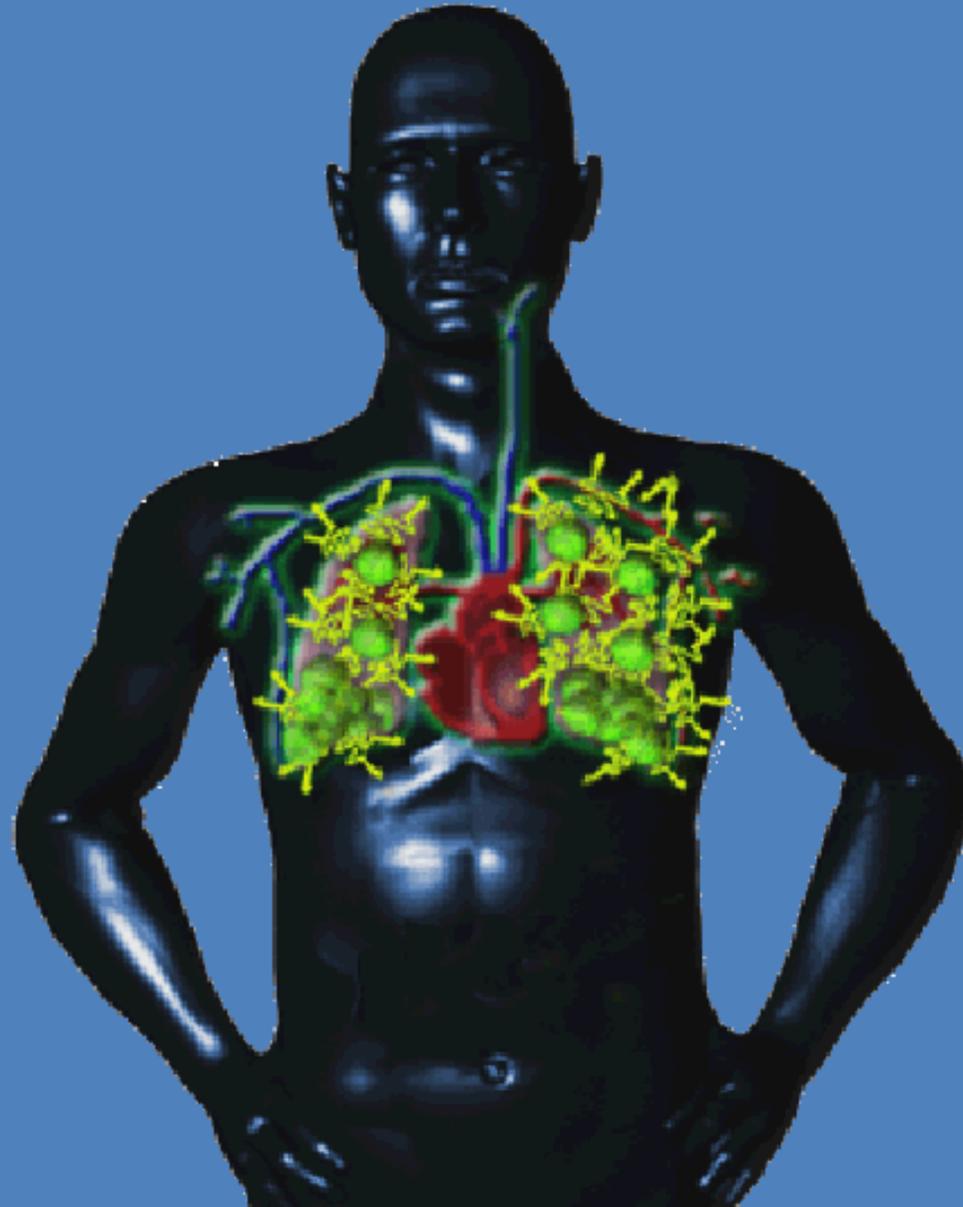
TRATTAMENTO DELLA CUTE CONTAMINATA

- Cute integra (continua)
- *Se contaminazione persiste, usare una soluzione detergente ed eventualmente una spazzola a setole morbide*
- *Eeguire nuova misura*
- *Se contaminazione persiste, usare per pochi minuti, una soluzione di permanganato di potassio per rimuovere lo strato corneo*
- Ricordare che:
 - *l' assorbimento aumenta se la pelle è danneggiata*
 - *la contaminazione persistente se ne va con lo strato corneo dopo 2 settimane*

TRATTAMENTO DELLA CUTE CONTAMINATA

- Cute lesionata
- *Disporre di adeguati strumenti di misura*
- *Occludere con laccio emostatico per impedire ritorno venoso da area contaminata*
- *Lavare la zona con acqua sterile o salina e favorire il sanguinamento*
- *Misurare la contaminazione residua*
- *Insolubilizzazione dei cationi a valenza I e II .*
- *Complessazione per sostanze a valenza >III*
- *Pulizia chirurgica*
- *In ogni caso prelevare campioni di urina e feci .*
- *Raccogliere successivamente le urine e le feci delle 24 ore*
- Ricordare che:
 - *difficilmente si verificheranno effetti deterministici*
 - *e' meglio conservare la funzione e l' aspetto estetico che garantire la rimozione completa*

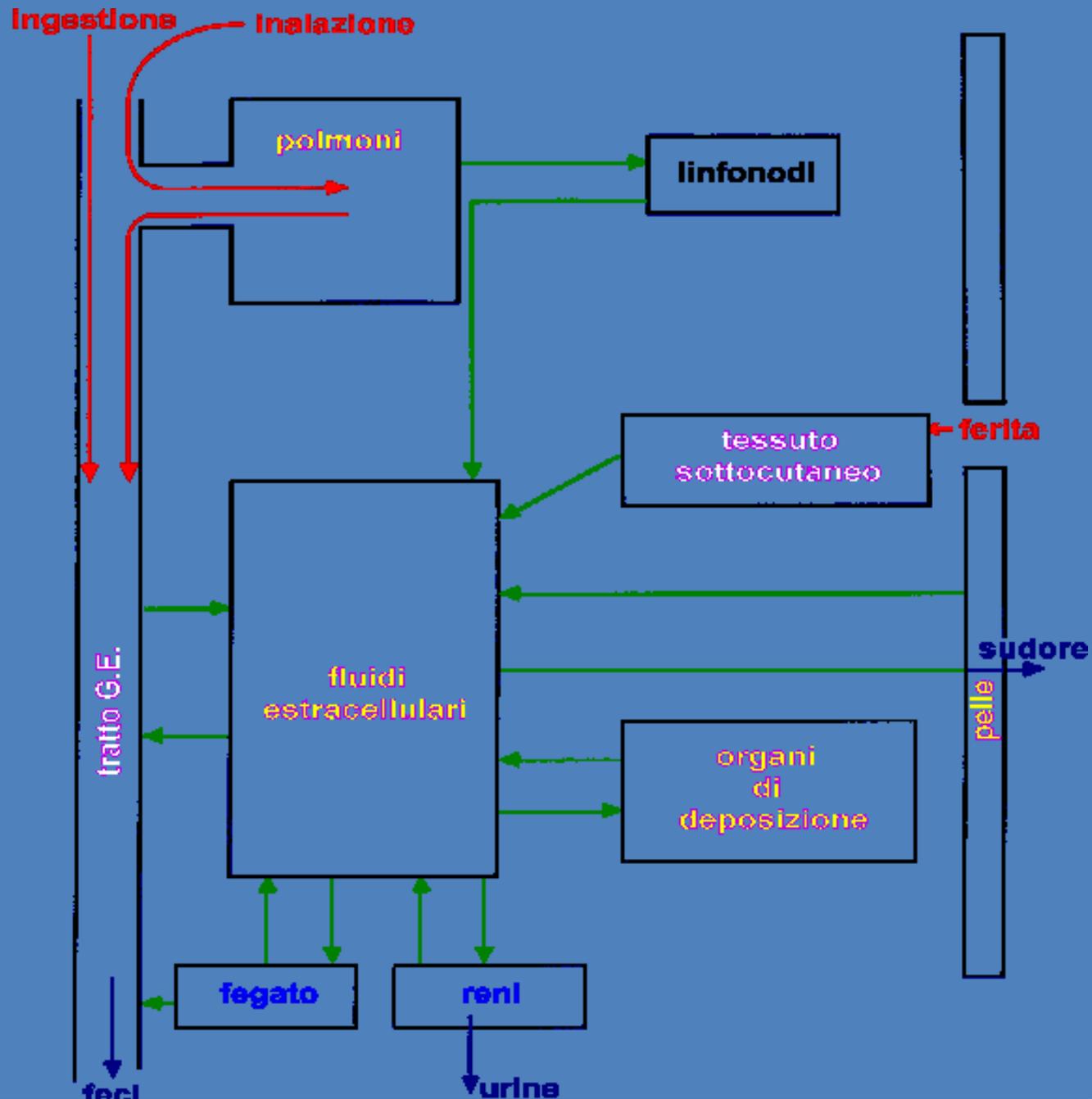
CONTAMINAZIONE INTERNA

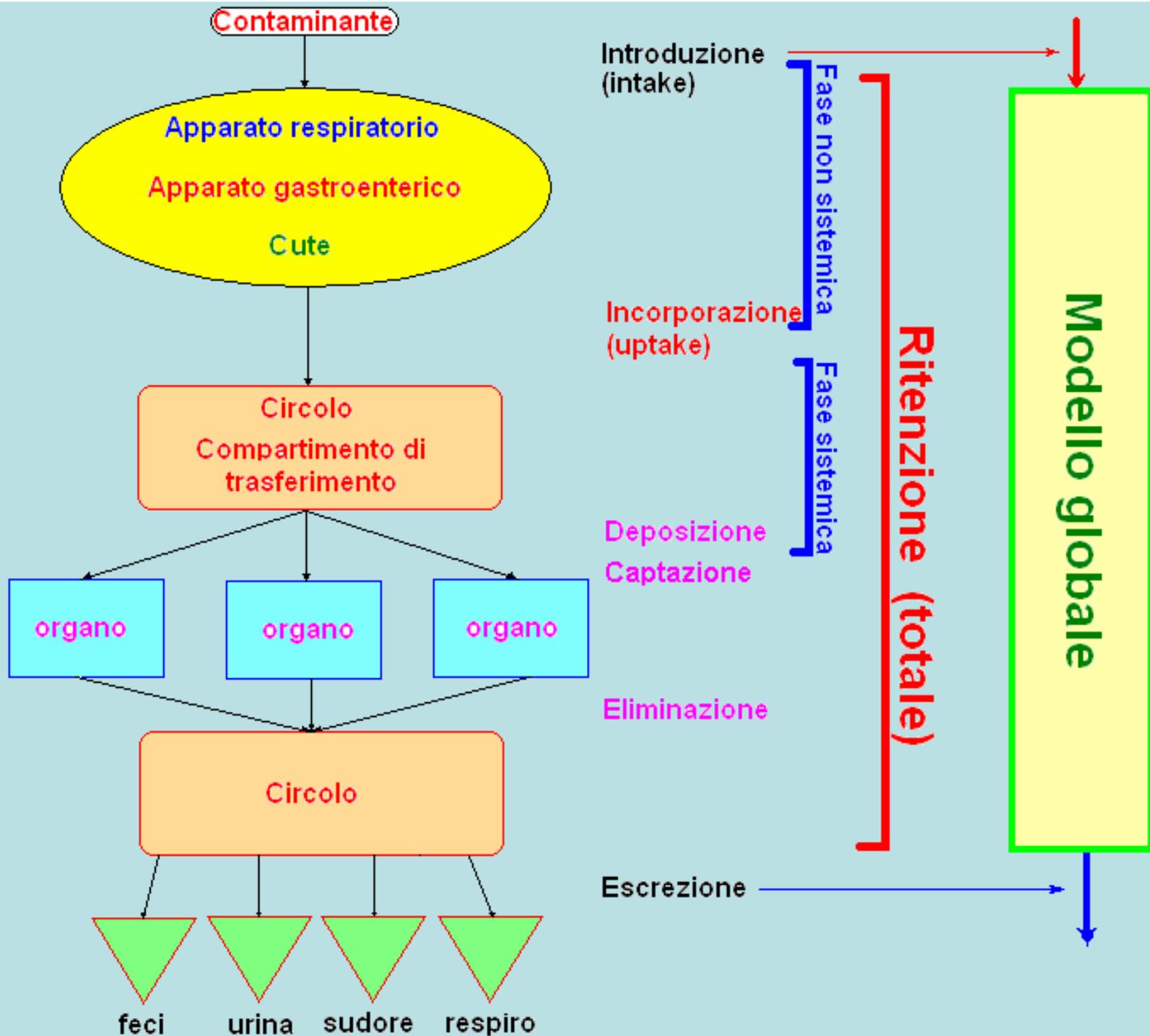


CONTAMINAZIONE INTERNA

Introduzione nell'organismo di sostanze radioattive che, seguendo il normale processo metabolico, si diffondono e si distribuiscono ai tessuti e agli organi (sorgente) che lo eliminano più o meno lentamente secondo la cinetica propria della forma chimica dell'elemento. Durante la loro permanenza i radionuclidi decadono irradiando organi e tessuti (bersaglio), per periodi più o meno lunghi e con intensità differenti a seconda della vita media dei radioelementi, alle loro caratteristiche chimico-fisiche e alle vie e alle modalità temporali di introduzione.

MODELLO DEL RICAMBIO



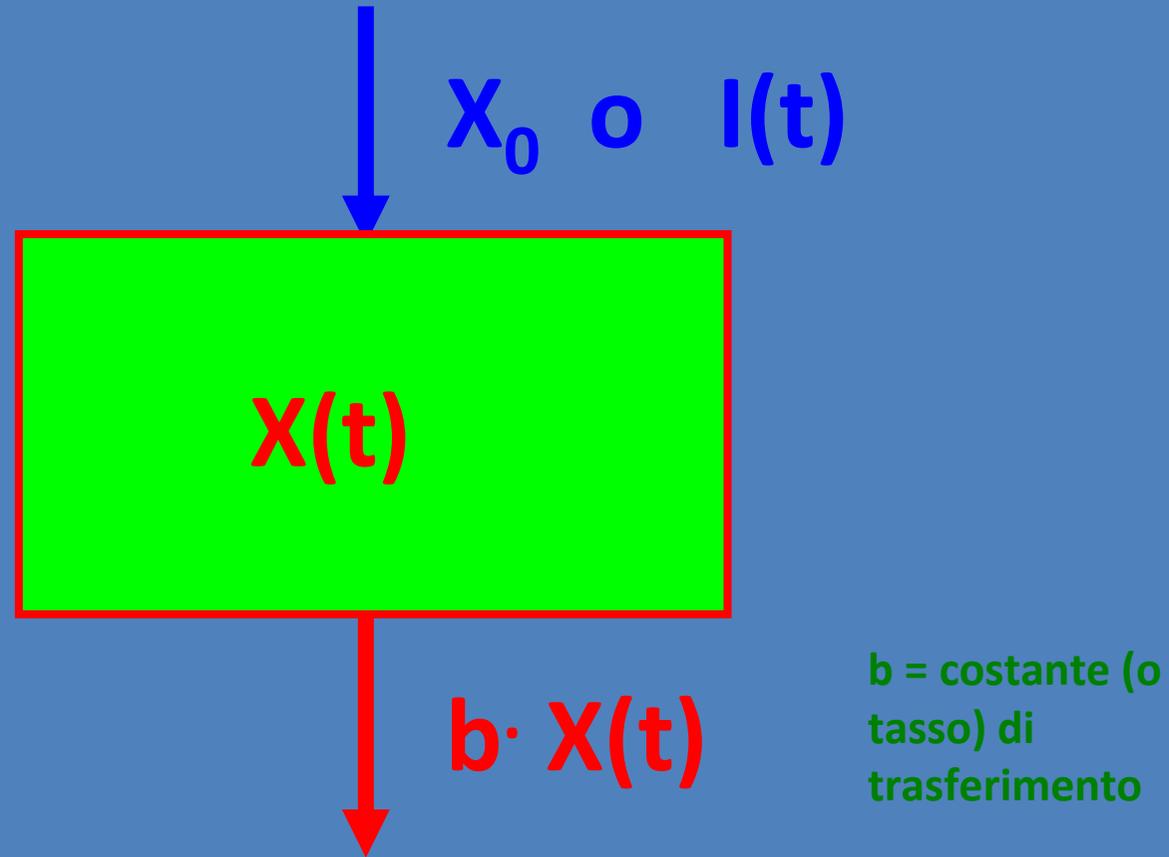


MODELLAZIONE A COMPARTIMENTI

- **COMPARTIMENTO di una sostanza o elemento chimico è ogni particolare stato:**
 - *Topografico (anatomico-fisiologico)*
 - *Chimico*
 - *Fisico*
 - *.....*

in cui o sotto cui si trova la sostanza stessa.
- **IPOTESI DI BASE:**

sussiste una relazione di proporzionalità diretta tra la variazione nel tempo della quantità di sostanza che abbandona il compartimento e quella presente nel compartimento stesso.



SCHEMA DI COMPARTIMENTO

$$\frac{dX}{dt} = -b \cdot X \quad \longrightarrow \quad X = X_0 \cdot e^{-b \cdot t}$$

RITENZIONE

Frazione della quantità introdotta, incorporata o depositata presente in un dato momento nell'organismo (ritenzione totale) o nell'organo (ritenzione parziale).

$$R(t) = \frac{\text{Attività presente al tempo } t}{\text{Attività introdotta}}$$

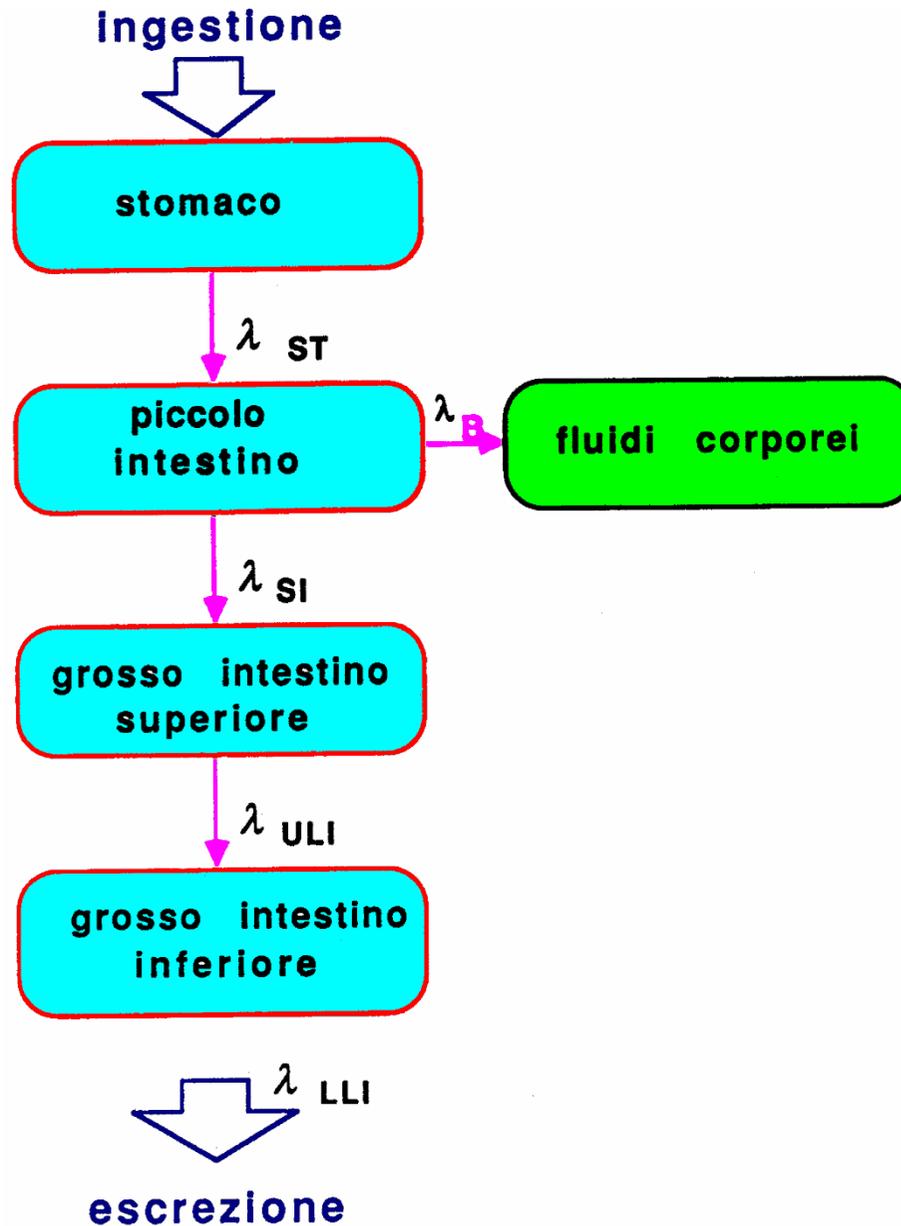
ESCREZIONE

Frazione della quantità introdotta, incorporata o depositata escreta in un dato momento (giorno) dall'organismo attraverso una delle vie di escrezione: generalmente urine (escrezione urinaria) o feci (escrezione fecale)

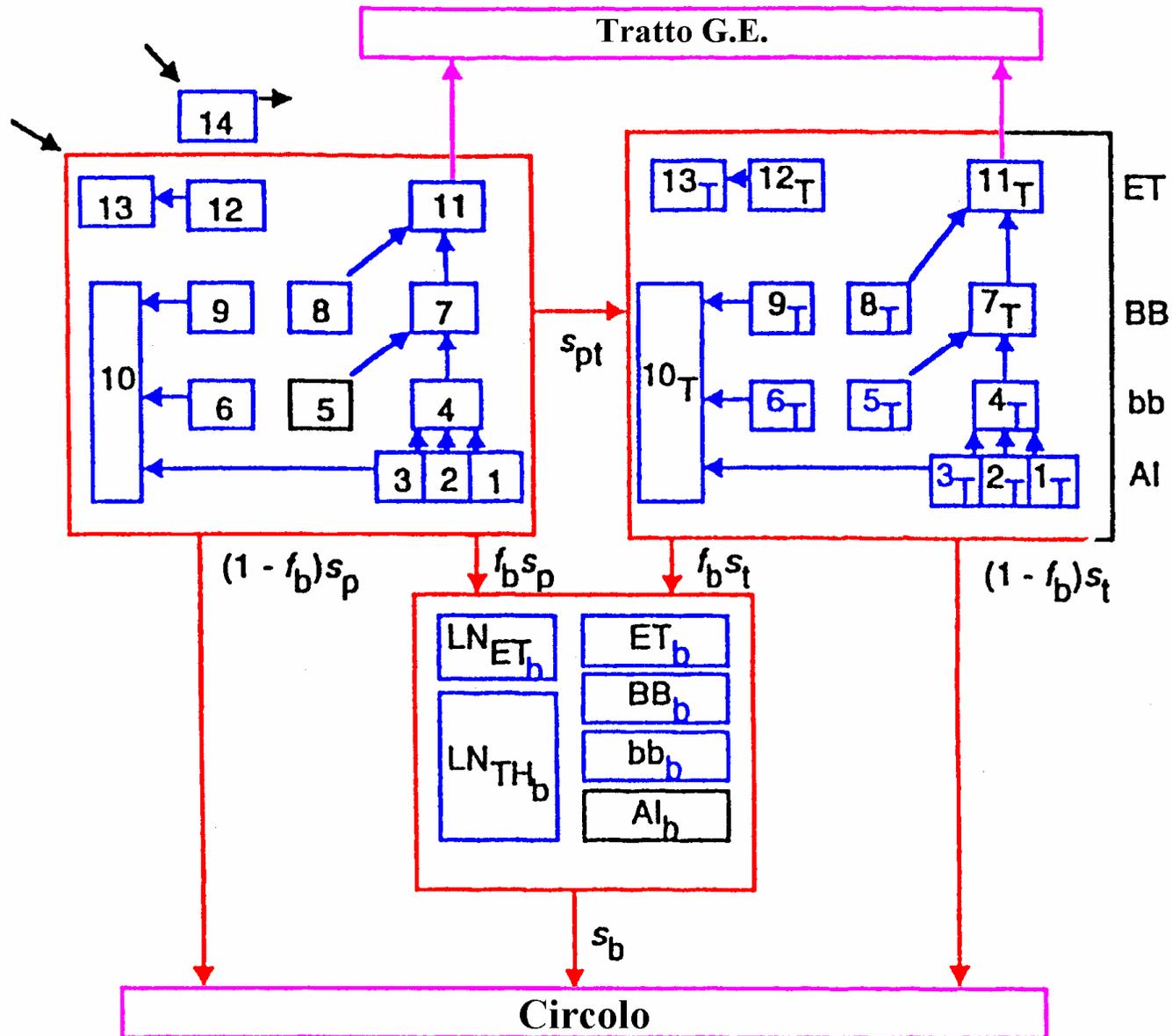
$$\dot{Y}(t) = \frac{\text{Attività escreta al tempo } t}{\text{Attività introdotta}}$$

MODELLO PARZIALE

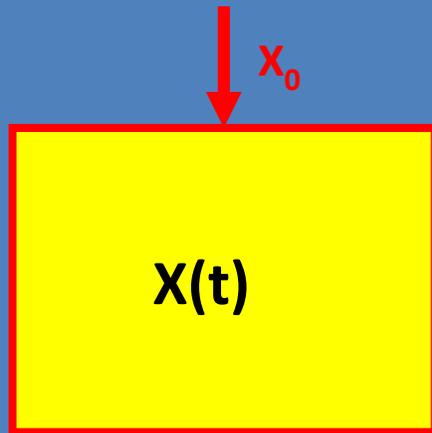
APPARATO GASTROENTERICO



MODELLO PARZIALE APPARATO RESPIRATORIO



PERIODO DI DIMEZZAMENTO EFFICACE



K = tasso di trasferimento

$1/k$ = tempo di trasferimento

$$\frac{dX}{dt} = -k \cdot X - \lambda \cdot X = -(k + \lambda) \cdot X$$

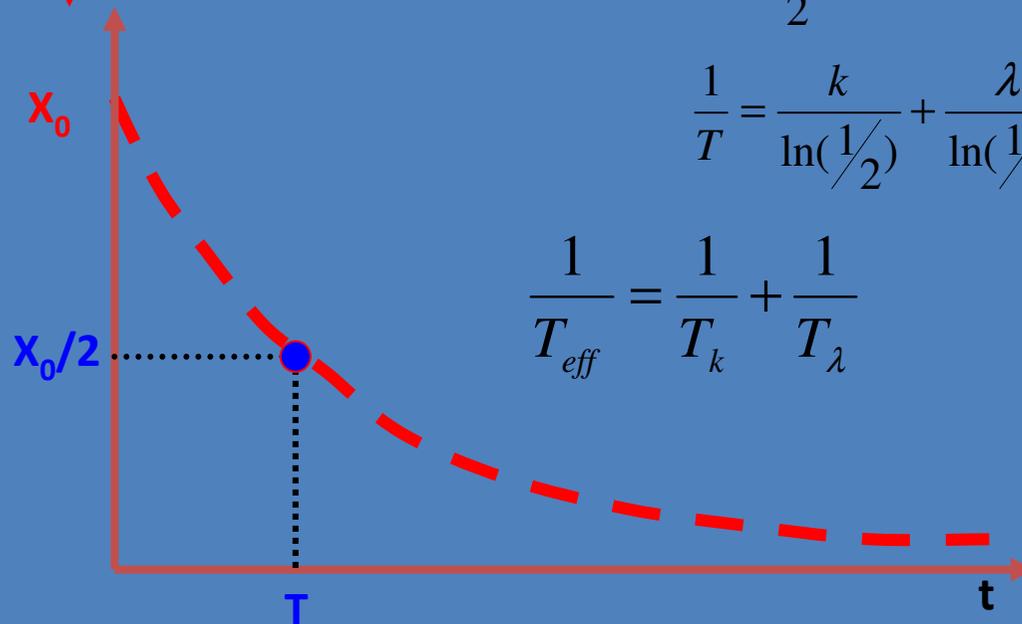
$$X(t) = X_0 \cdot e^{-(k+\lambda) \cdot t}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -(k + \lambda) \cdot T$$

$$\frac{1}{T} = \frac{k}{\ln(1/2)} + \frac{\lambda}{\ln(1/2)}$$

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_k} + \frac{1}{T_\lambda}$$

$$T_{eff} = \frac{T_k \cdot T_\lambda}{T_k + T_\lambda}$$



DOSE IMPEGNATA

Dose che verrà accumulata nell'organo bersaglio nei successivi 50 (70) anni dopo l'introduzione del radionuclide nell'organismo

$$H_T = 13,84 \cdot f \cdot q_0 \cdot \frac{\varepsilon}{m} \cdot \int_0^{50} R(t) dt$$

f = frazione di deposizione nell'organo sorgente

q_0 = attività introdotta al tempo 0 (kBq)

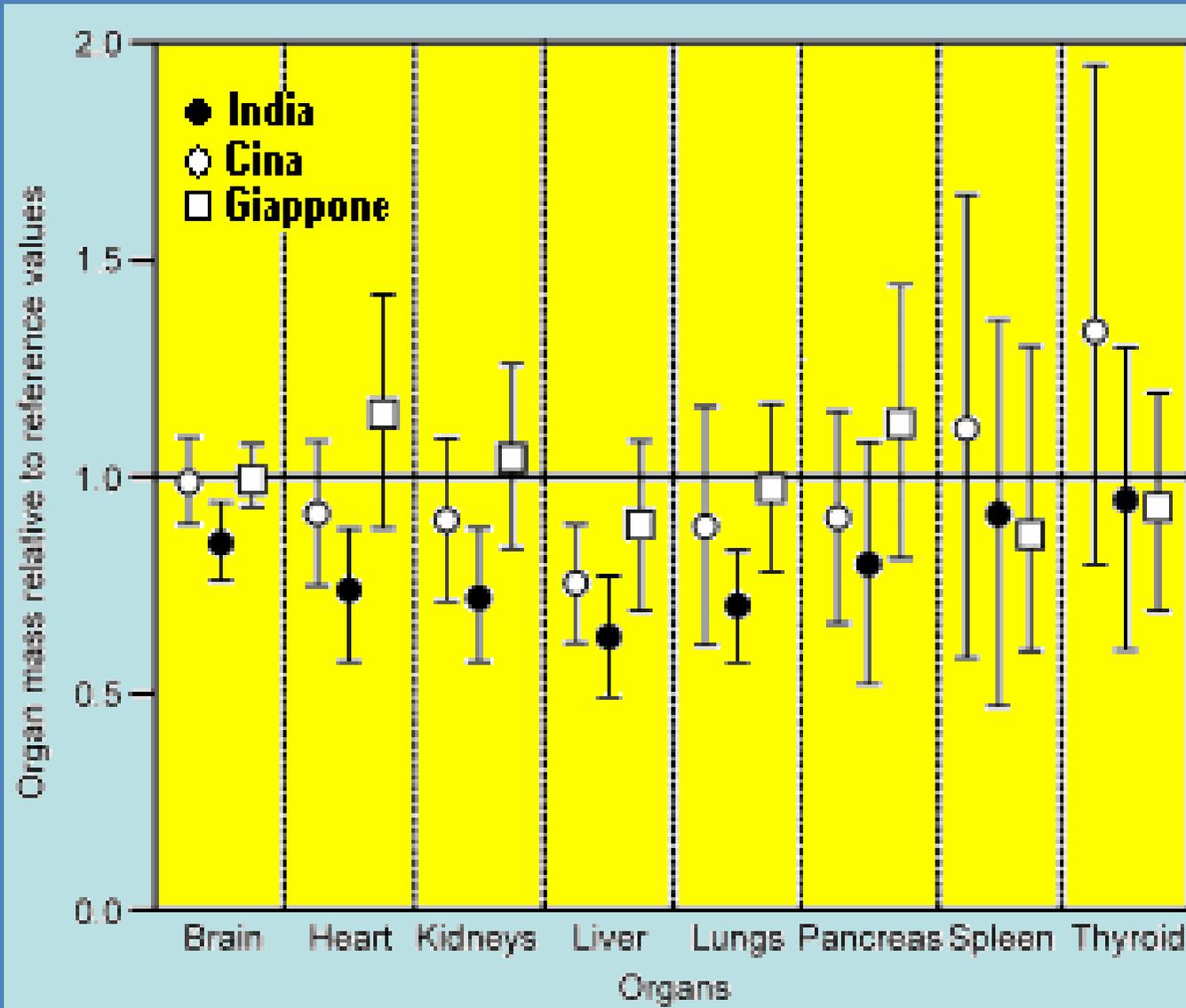
m = massa dell'organo bersaglio (g)

ε = energia assorbita per disintegrazione (Mev/Bq)

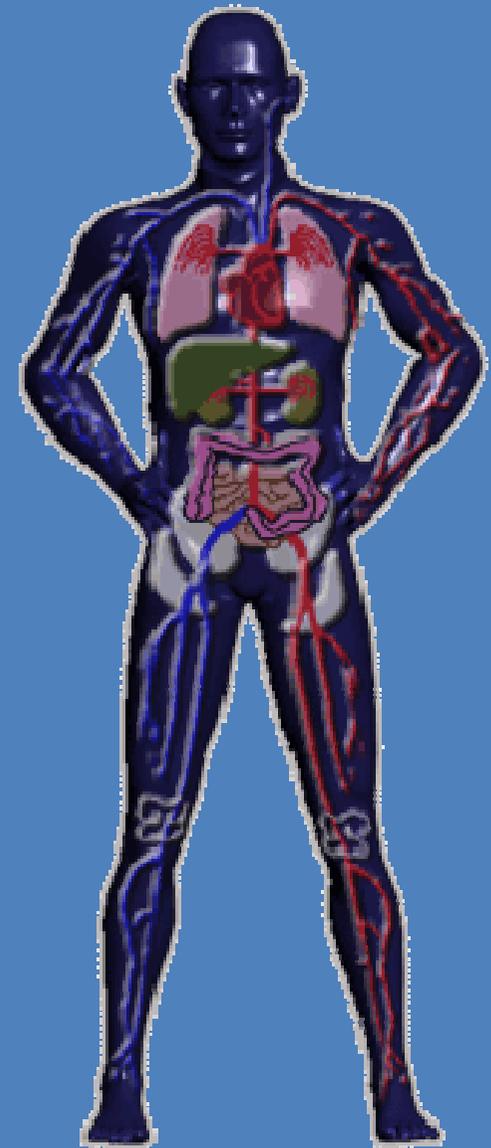
$R(t)$ = funzione di ritenzione

H_T = dose equivalente impegnata

L'UOMO STANDARD



ICRP 89



Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n. 203 del 31 agosto 2000 - Serie generale

Spediz. abb. post. 45% - art. 2, comma 20/b
Legge 23-12-1996, n. 662 - Filiale di Roma

GAZZETTA UFFICIALE

DELLA REPUBBLICA ITALIANA



PARTE PRIMA

Roma - Giovedì, 31 agosto 2000

SI PUBBLICA TUTTI
I GIORNI NON FESTIVI

DIREZIONE E REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARENULA 70 - 00100 ROMA
AMMINISTRAZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - LIBRERIA DELLO STATO - PIAZZA G. VERDI 10 - 00100 ROMA - CENTRALINO 06 85081

N. 140/L

DECRETO LEGISLATIVO 26 maggio 2000, n. 241.

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

TABELLA IV.1

Coefficienti di dose efficace impegnata per unità di introduzione per inalazione e per ingestione per i lavoratori (Sv·Bq⁻¹)

Nuclide	Tempo di dimezzamento	Inalazione				Ingestione	
		Tipo assorb. ¹⁾	f _i	h(g) _{pm}	h(g) _{am}	f _i	h(g)
Idrogeno							
Acqua tritiata	12,3 a		Vedi tabella IV.2 per le dosi di inalazione				
OBT ²⁾	12,3 a		Vedi tabella IV.2 per le dosi di inalazione				
Berillio						1,000	4,2 10 ⁻¹¹
Be-7	53,3 d	M	0,005	4,8 10 ⁻¹¹	4,3 10 ⁻¹¹	0,005	2,8 10 ⁻¹¹
		S	0,005	5,2 10 ⁻¹¹	4,6 10 ⁻¹¹		
Be-10	1,60 10 ⁶ a	M	0,005	9,1 10 ⁻⁹	6,7 10 ⁻⁹	0,005	1,1 10 ⁻⁹
		S	0,005	3,2 10 ⁻⁸	1,9 10 ⁻⁸		
Carbonio							
C-11	0,340 h		Vedi tabella IV.2 per le dosi di inalazione				
C-14	5,73 10 ³ a		Vedi tabella IV.2 per le dosi di inalazione				
Fuoro						1,000	5,8 10 ⁻¹⁰
F-18	1,83 h	F	1,000	3,0 10 ⁻¹¹	5,4 10 ⁻¹¹	1,000	4,9 10 ⁻¹¹
		M	1,000	5,7 10 ⁻¹¹	8,9 10 ⁻¹¹		
		S	1,000	6,0 10 ⁻¹¹	9,3 10 ⁻¹¹		
Sodio							
Na-22	2,60 a	F	1,000	1,3 10 ⁻⁹	2,0 10 ⁻⁹	1,000	3,2 10 ⁻⁹
Na-24	15,0 h	F	1,000	2,9 10 ⁻¹⁰	5,3 10 ⁻¹⁰	1,000	4,3 10 ⁻¹⁰
Magnesio							
Mg-28	20,9 h	F	0,500	6,4 10 ⁻¹⁰	1,1 10 ⁻⁹	0,500	2,2 10 ⁻⁹
		M	0,500	1,2 10 ⁻⁹	1,7 10 ⁻⁹		
Alluminio							
Al-26	7,16 10 ² a	F	0,010	1,1 10 ⁻⁸	1,4 10 ⁻⁸	0,010	3,5 10 ⁻⁸
		M	0,010	1,8 10 ⁻⁸	1,2 10 ⁻⁸		
Silicio							
Si-31	2,62 h	F	0,010	2,9 10 ⁻¹¹	5,1 10 ⁻¹¹	0,010	1,6 10 ⁻¹⁰
		M	0,010	7,5 10 ⁻¹¹	1,1 10 ⁻¹⁰		
		S	0,010	8,0 10 ⁻¹¹	1,1 10 ⁻¹⁰		
Si-32	4,50 10 ² a	F	0,010	3,2 10 ⁻⁹	3,7 10 ⁻⁹	0,010	5,6 10 ⁻¹⁰
		M	0,010	1,5 10 ⁻⁸	9,6 10 ⁻⁹		
		S	0,010	1,1 10 ⁻⁷	5,5 10 ⁻⁸		
Fosforo							
P-32	14,3 d	F	0,800	8,0 10 ⁻¹⁰	1,1 10 ⁻⁹	0,800	2,4 10 ⁻⁹
		M	0,800	3,2 10 ⁻⁹	2,9 10 ⁻⁹		
P-33	25,4 d	F	0,800	9,6 10 ⁻¹¹	1,4 10 ⁻¹⁰	0,800	2,4 10 ⁻¹⁰
		M	0,800	1,4 10 ⁻⁹	1,3 10 ⁻⁹		
Zolfo							
S-35 (inorganico)	87,4 d	F	0,800	5,3 10 ⁻¹¹	8,0 10 ⁻¹⁰	0,800	1,4 10 ⁻¹⁰
		M	0,800	1,3 10 ⁻⁹	1,1 10 ⁻⁹	0,100	1,9 10 ⁻¹⁰
S-35 (organico)	87,4 d		Vedi tabella IV.2 per le dosi di inalazione				
Cloro						1,000	7,7 10 ⁻¹⁰
Cl-36	3,01 10 ⁴ a	F	1,000	3,4 10 ⁻¹⁰	4,9 10 ⁻¹⁰	1,000	9,3 10 ⁻¹⁰
		M	1,000	6,9 10 ⁻⁹	5,1 10 ⁻⁹		
Cl-38	0,620 h	F	1,000	2,7 10 ⁻¹¹	4,6 10 ⁻¹¹	1,000	1,2 10 ⁻¹⁰
		M	1,000	4,7 10 ⁻¹¹	7,3 10 ⁻¹¹		

¹⁾ Il tipo F denota un'eliminazione rapida dai polmoni.

Il tipo M denota un'eliminazione moderata dai polmoni.

Il tipo S denota un'eliminazione lenta dai polmoni.

²⁾ OBТ — Tritio legato organicamente.

CARATTERISTICHE RILEVANTI

Ritenzione ed escrezione dipendono da:

- *Via di introduzione*
- *Forma chimico-fisica*
- *Modalità temporali di introduzione*

Inoltre la dose dipende anche da:

- *Attività introdotta*
- *Natura ed energia della radiazione*

VALUTAZIONI

- **A priori**



- **A posteriori**

- a) Metodo diretto



- b) Metodo indiretto



PROGRAMMA DI “MONITORING”

- *In caso di contaminazioni incidentali gli esami sono essenziali (anche per motivi psicologici)*
- *Nel caso di possibili contaminazioni di routine è necessario predisporre un programma di monitoraggio che preveda:*
 - *Frequenze di misura (e quindi intervalli temporali tra le misure),*
 - *Livelli di riferimento.*

METODI DI MISURA

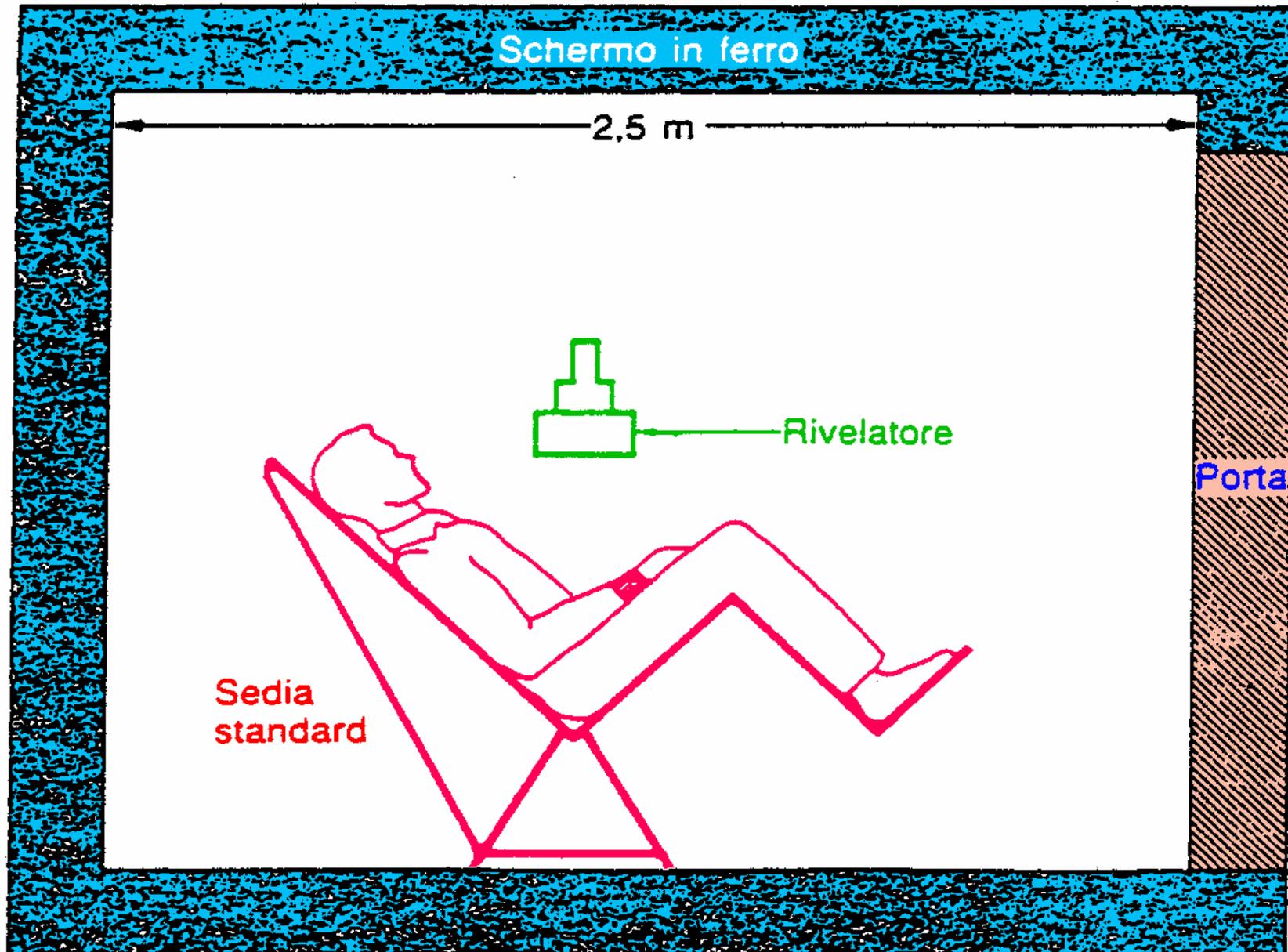
MISURE DIRETTE

- *Total body counter*
- *Rivelatore collimato*

Misure indirette

- *Analisi radiotossicologiche (urine, feci,...)*
- *Campionatori personali*

TOTAL BODY COUNTER



SENSIBILITA' WBC

Minima attività rivelabile nel corpo e nei polmoni mediante il contatore per il corpo umano intero del Centro ENEA di Bologna (10 minuti di misura)

NUCLIDE	ATTIVITÀ CORPOREA Bq	ATTIVITÀ NEI POLMONI Bq
Na-22	40	
Cr-51	500	100
Mn-54	40	8,5
Co-58	40	8
Fe-59	55	10
Co-60	30	6,5
Zn-65	85	15
Se-75	60	15
Zr-95	45	10
Ru-106	210	45
I-131	55	
Cs-137	55	
Ce-141	160	30
Ce-144	710	150
Hg-203	65	15

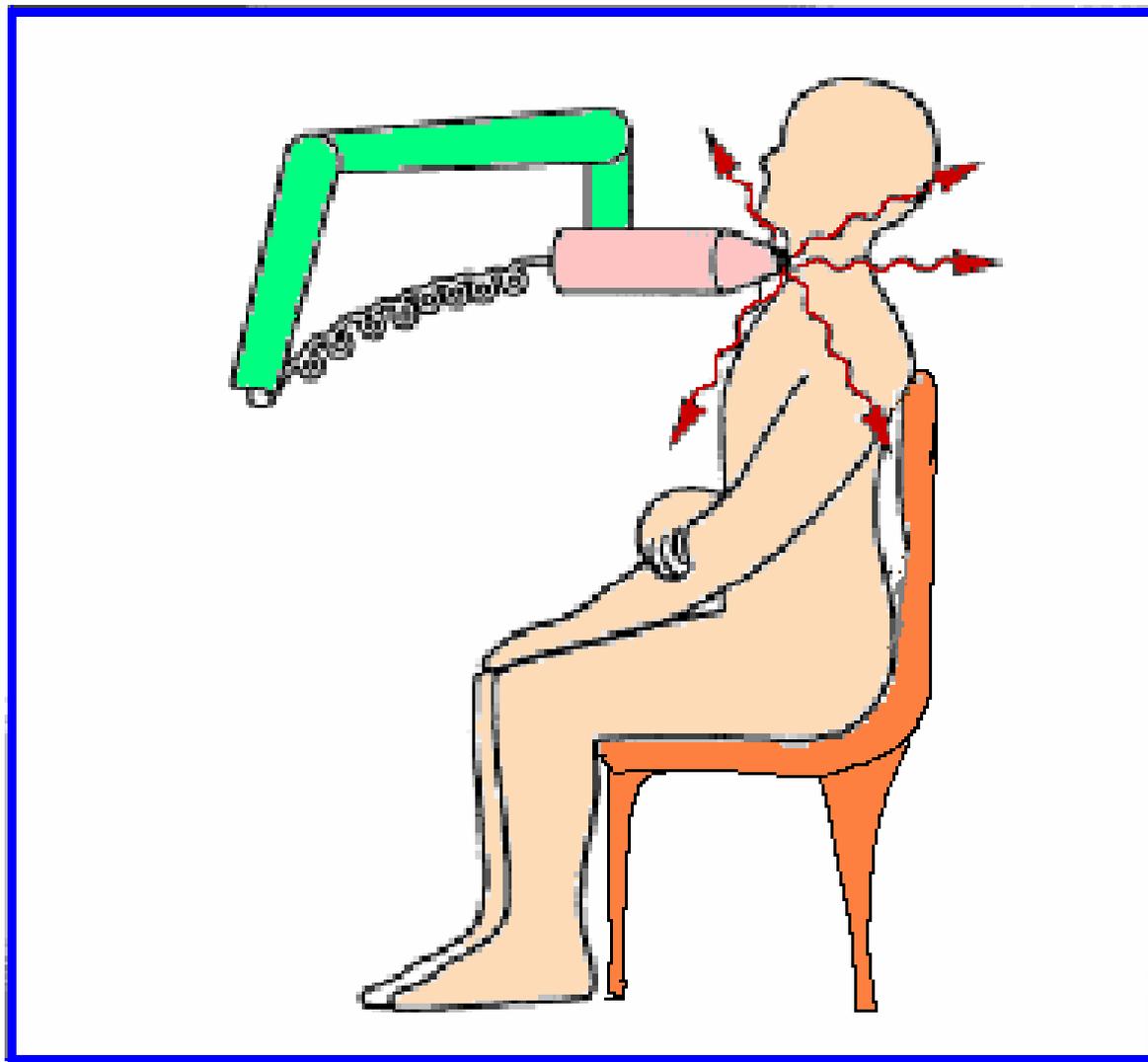
SENSIBILITA' PER γ DEBOLI

Quantità minime di radionuclidi, emettitori di radiazioni X e gamma di debole energia, nei polmoni misurabili con W.B.C. (CCR Euratom Ispra)

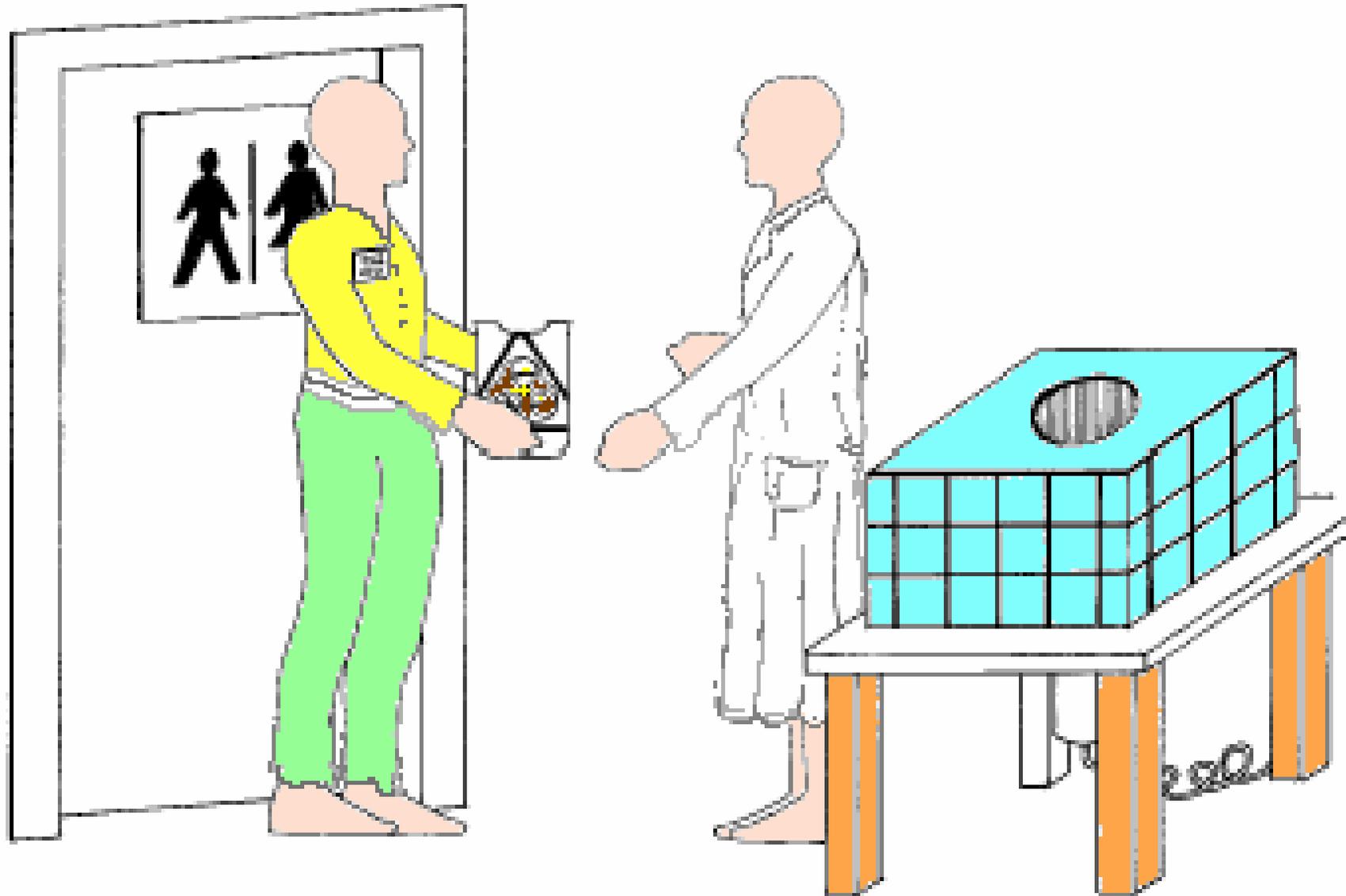
RADIONUCLIDE	LIMITE ANNUALE (Bq)	QUANTITÀ MISURABILE (Bq)
Am-241	$2 \cdot 10^2$	10
Pu-238	$2 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$
Pu-239	$2 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$
U-nat	$1 \cdot 10^3$	50
U-235	$2 \cdot 10^3$	10



RIVELATORE COLLIMATO



ANALISI RADIOTOSSICOLOGICHE

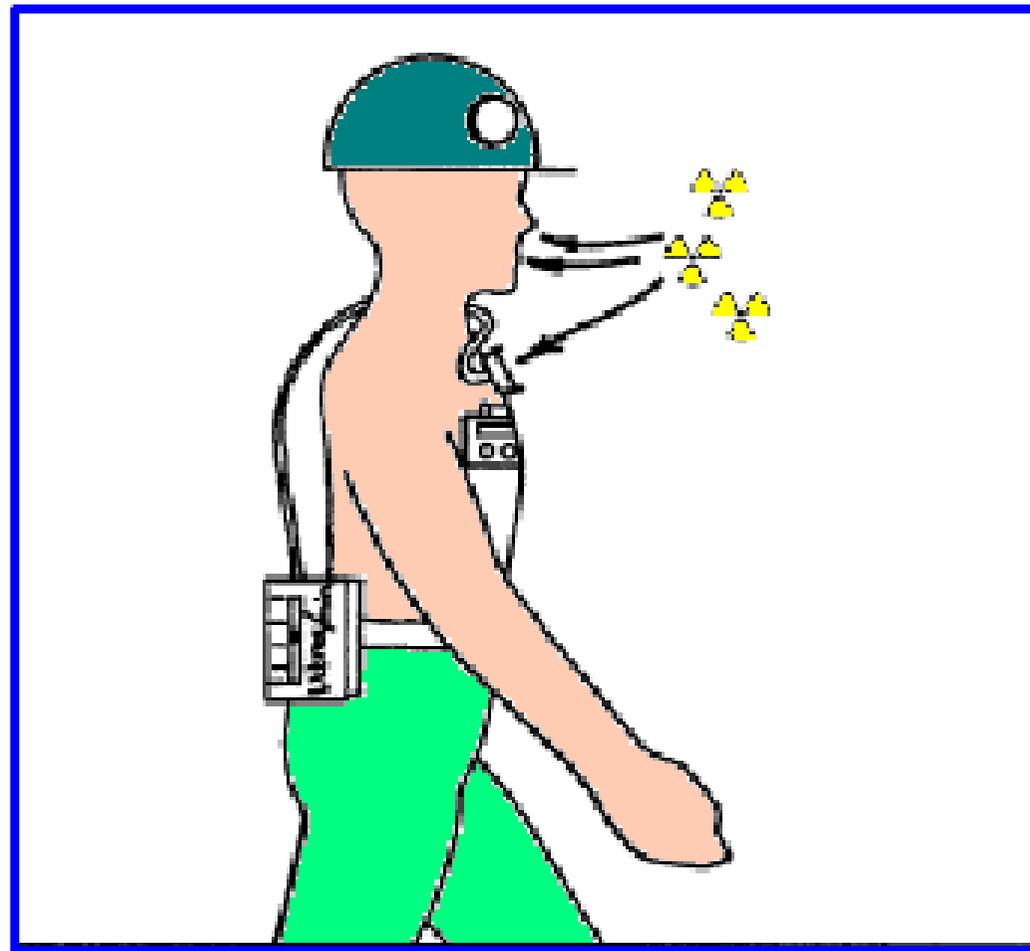


SENSIBILITA' ESAMI DI RADIOTOSSICOLOGIA

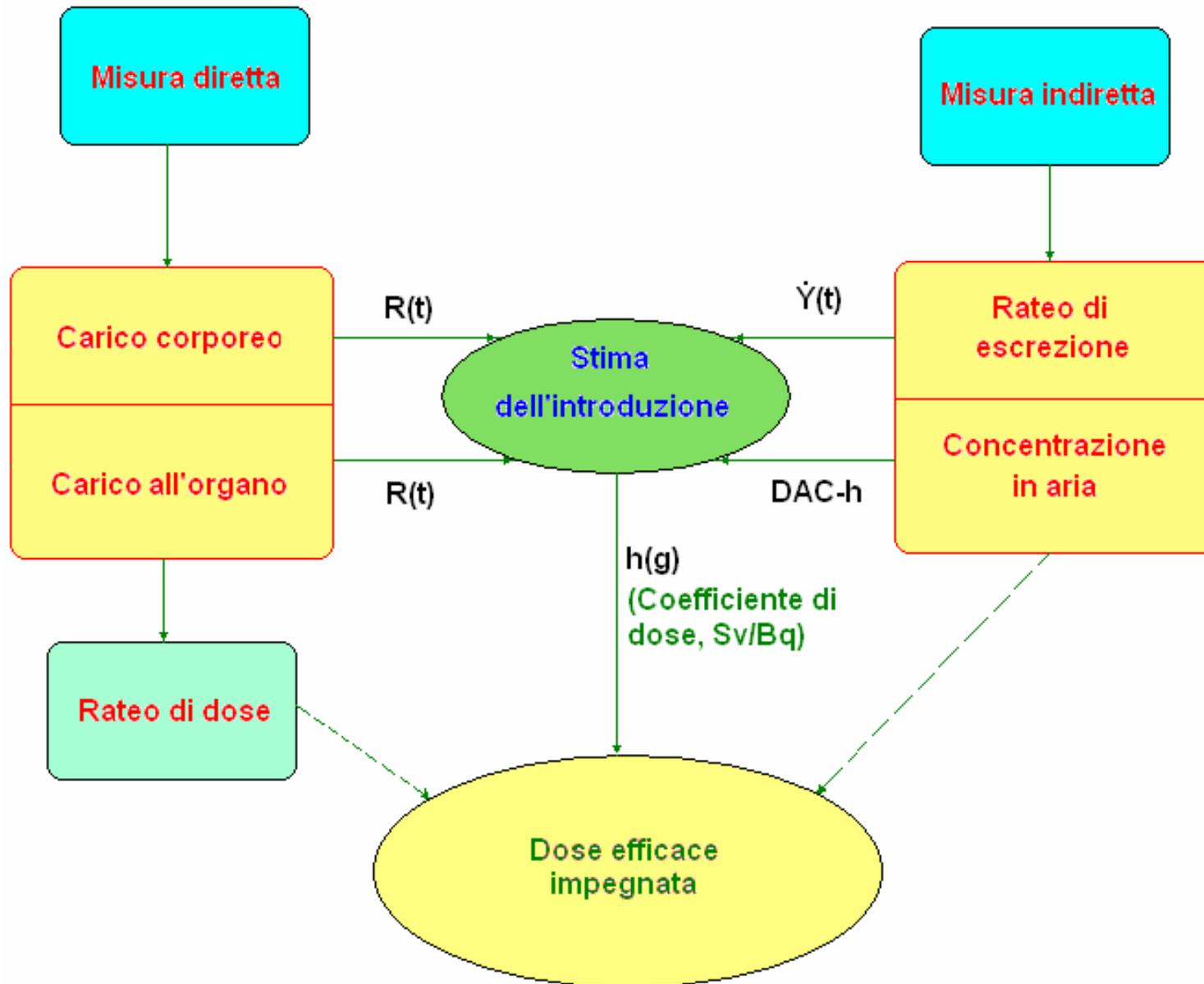
Minima attività misurabile nelle urine mediante metodi radiotossicologici, presso il Centro ENEA della Casaccia (Roma)

NUCLIDE E ORGANO CRITICO		ATTIVITÀ MINIMA MISURABILE Bq	PERIODICITÀ DI CAMPIONAMENTO GIORNI
H-3	TB	3700	15
Co-60	TB	11	60
Sr-90	ossa	0,19	60
Cs-137	TB	11	60
Po-210	milza	0,019	60
Ra-226	ossa	0,007	60
U nat	ossa	0,2 µg	60
Th nat	ossa	15 µg	60
Pu-239	ossa	$1,5 \times 10^{-3}$	60

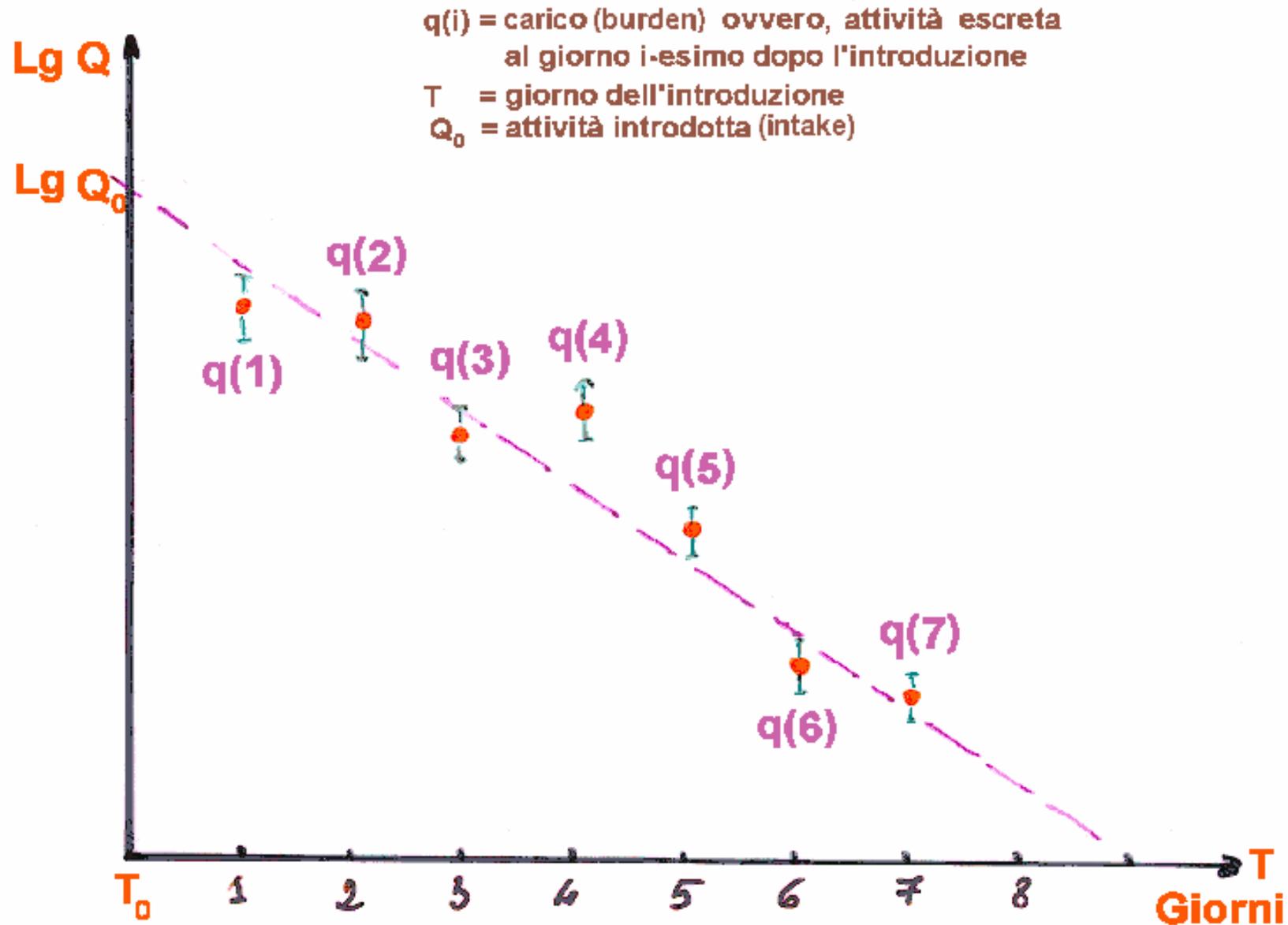
CAMPIONATORE PERSONALE D'ARIA (PERSONAL AIR SAMPLER P.A.S)



PROCESSO VALUTATIVO



VALUTAZIONE GRAFICA DELL'INTAKE



VALUTAZIONE ANALITICA DELL'INTAKE

$q(t)$ = carico corporeo o attività escreta al giorno t

$m(t)$ = funzione di ritenzione o di escrezione al giorno t

I_0 = intake al giorno 0

$$I_0 : q(t) = 1 : m(t)$$

$$I_0 = \frac{q(t)}{m(t)}$$

CRITERI TERAPEUTICI

- *Diluizione isotopica*
- *Blocco della captazione*
- *Insolubilizzazione*
- *Chelazione*
- *Accelerazione del transito*
- *Forzamento diuresi*
- *Rimozione (composti emetocartartici)*

TERAPIA

Radionuclide

**Via
penetrazione**

**Agente
terapeutico**

**Principio
di azione**

Trizio

qualsiasi

acqua

diluizione

Iodio

qualsiasi

KI,

saturazione

metimazolo

acc. scarico

Cesio

qualsiasi

blu di Prussia

blocco entero-

epatico

Stronzio

ingestione

alginato

insolubiliz.

inalazione

Citrato sodio

blocco assorb.

dieta ipofosfor.

Ipercalciuria

ferita

rodizonato

Uranio

qualsiasi

bicarbonato

insolubiliz.

Polonio

qualsiasi

BAL

chelazione

Terre rare

inalazione

DTPA

chelazione

Plutonio

ferita

DTPA

chelazione

Transplutonici

ingestione

scir. ipercacuana

vomito

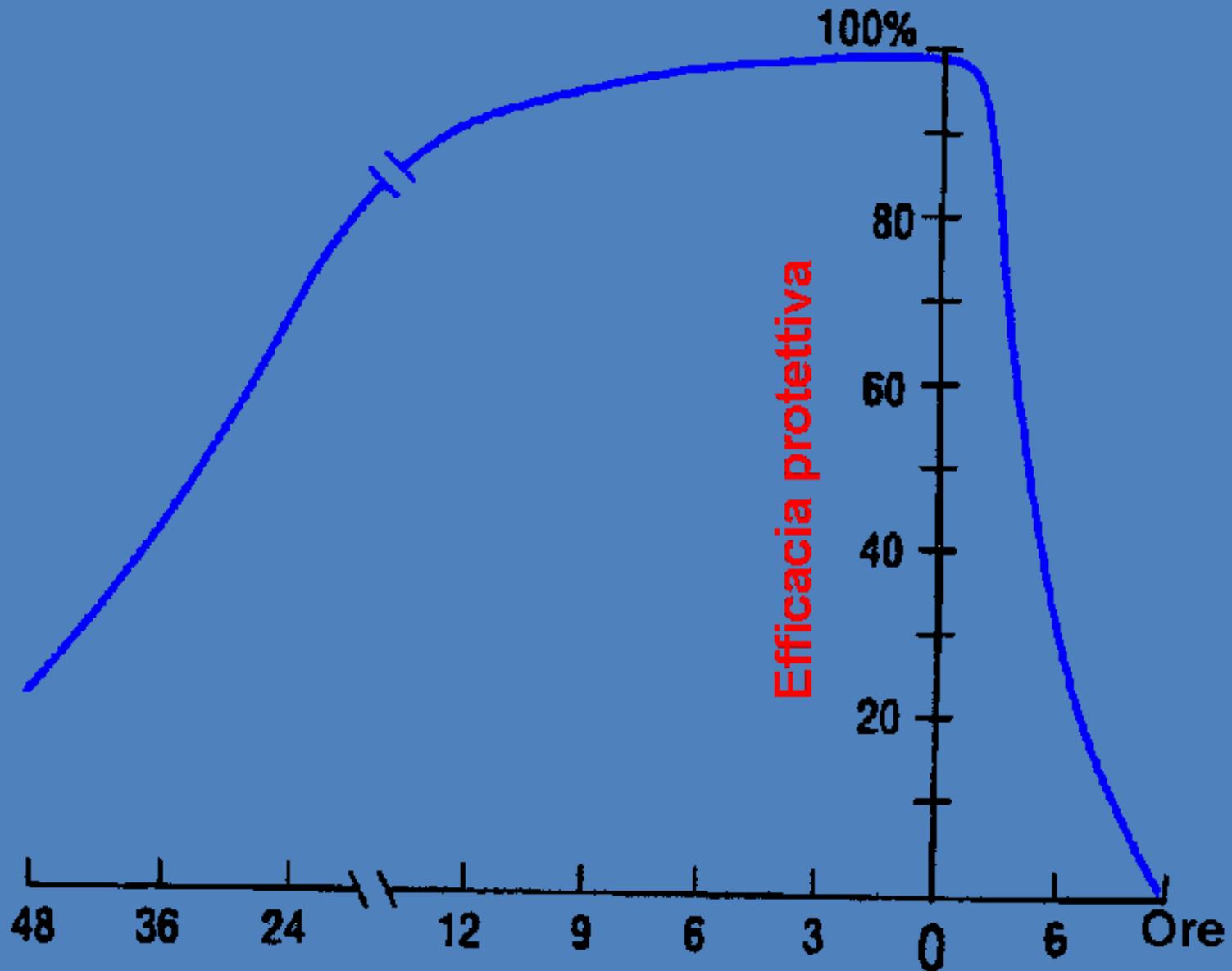
MgSO₄

acc. transito

lavanda gastrica

rimozione

IODIOPROFILASSI



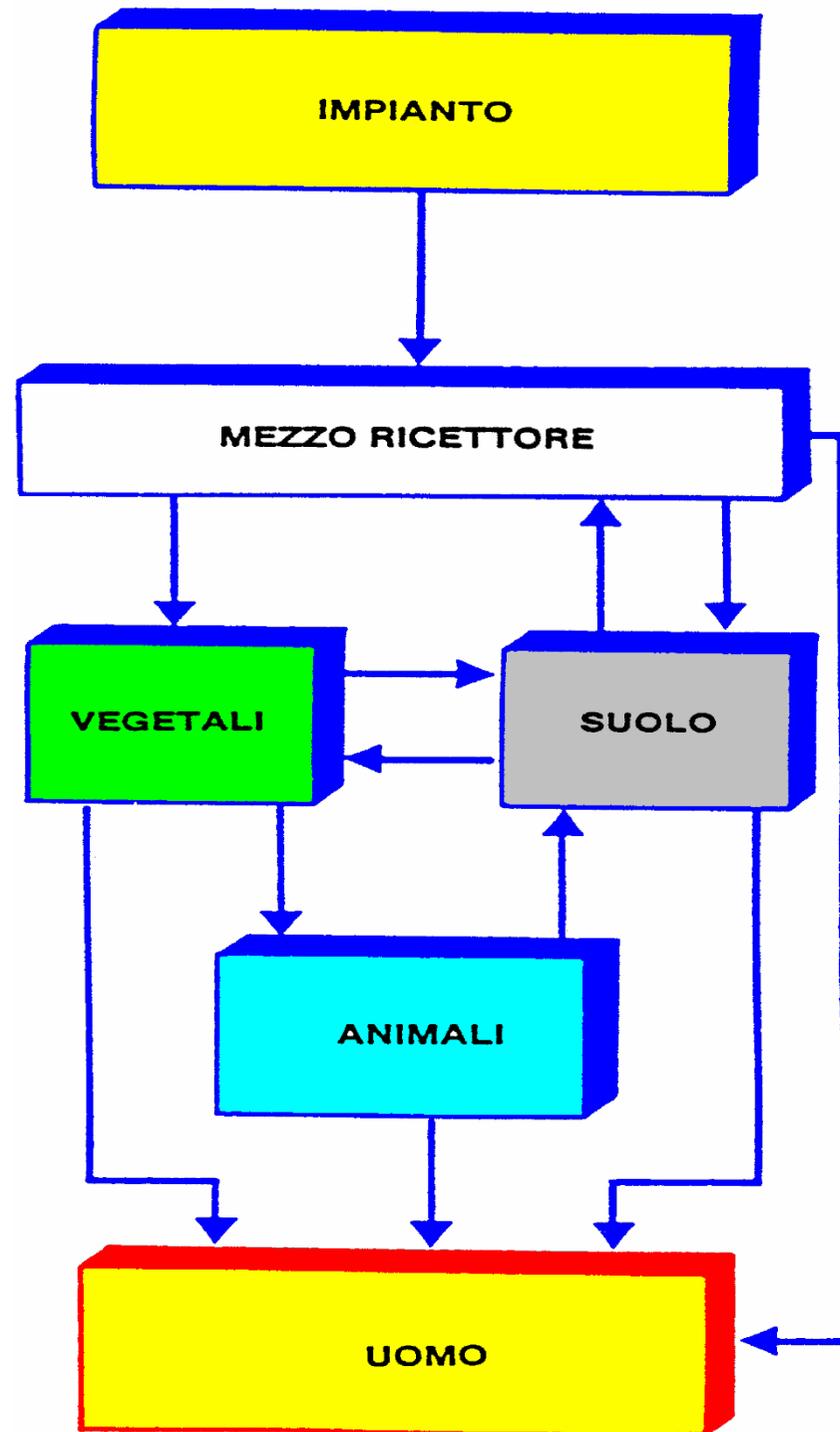
POSOLOGIA IODIO STABILE

<i>Gruppo d'età</i>	<i>Posologia</i>	<i>Durata</i>
Adulti, adolescenti >12 anni	100 mg 50 mg/die	inizio giorni successivi*
Bambini (3 - 12 anni)	50 mg/die	inizio e giorni successivi
Infanti (1 mese – 3 anni)	25 mg/die	inizio e giorni successivi
Neonati (0 – 1 mese)	12,5 mg	inizio e giorni successivi

*La dose totale non deve superare 1 g.

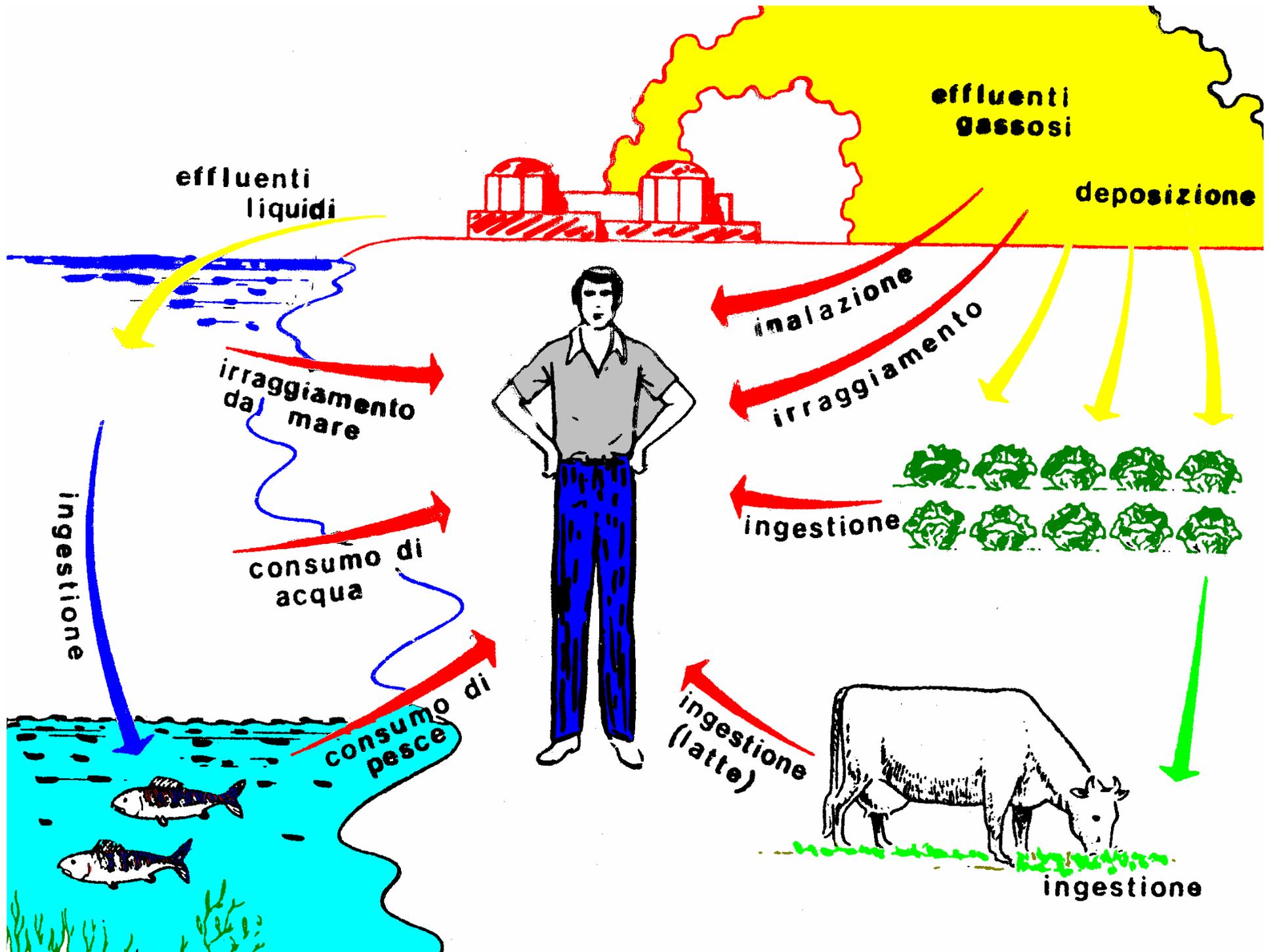
CONTAMINAZIONE DELL'AMBIENTE

**Modello
generale di
ritorno della
radioattività
all'uomo**

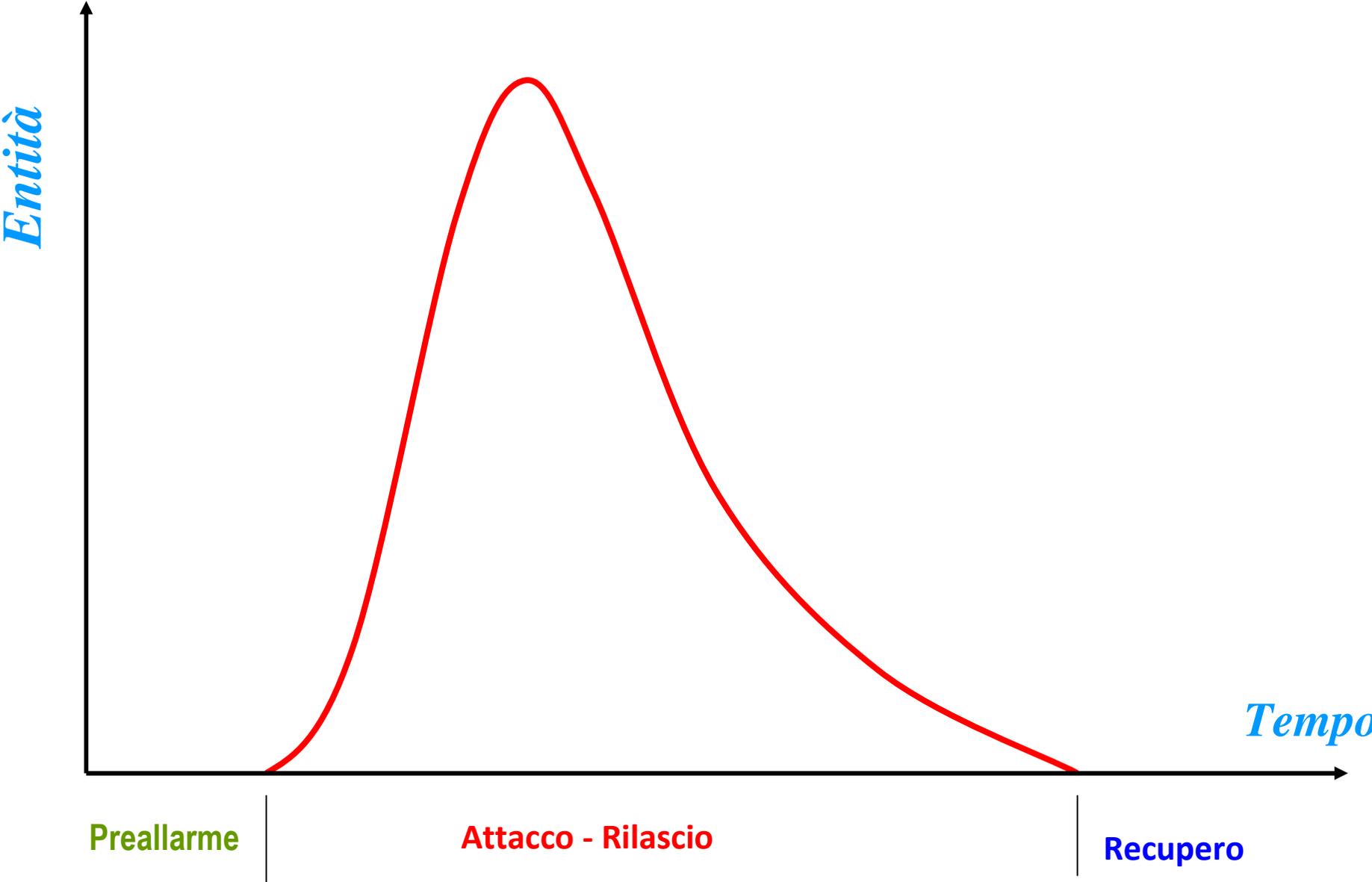


VIE DI ESPOSIZIONE

- *Diretta da sorgente*
- *Da Sommersione*
- *Da Inalazione nube*
- *Da materiale depositato al suolo*
- *Da inalazione di materiale risospeso*
- *Da ingestione alimentare*



EVOLUZIONE TEMPORALE



Fasi dell'emergenza

- ***Fase iniziale***
 - ***Fase di prerilascio (allarme)***

Periodo tra l'uscita di controllo dell'impianto e l'inizio del rilascio
 - ***Prima fase di rilascio***

Periodo durante il quale il rilascio inizia e raggiunge l'intensità più alta
- ***Fase intermedia***

Periodo durante il quale l'intensità di rilascio si attenua e quindi cessa
- ***Fase di recupero***

Periodo tra la fine del rilascio ed il rièristino delle condizioni iniziali dell'ambiente

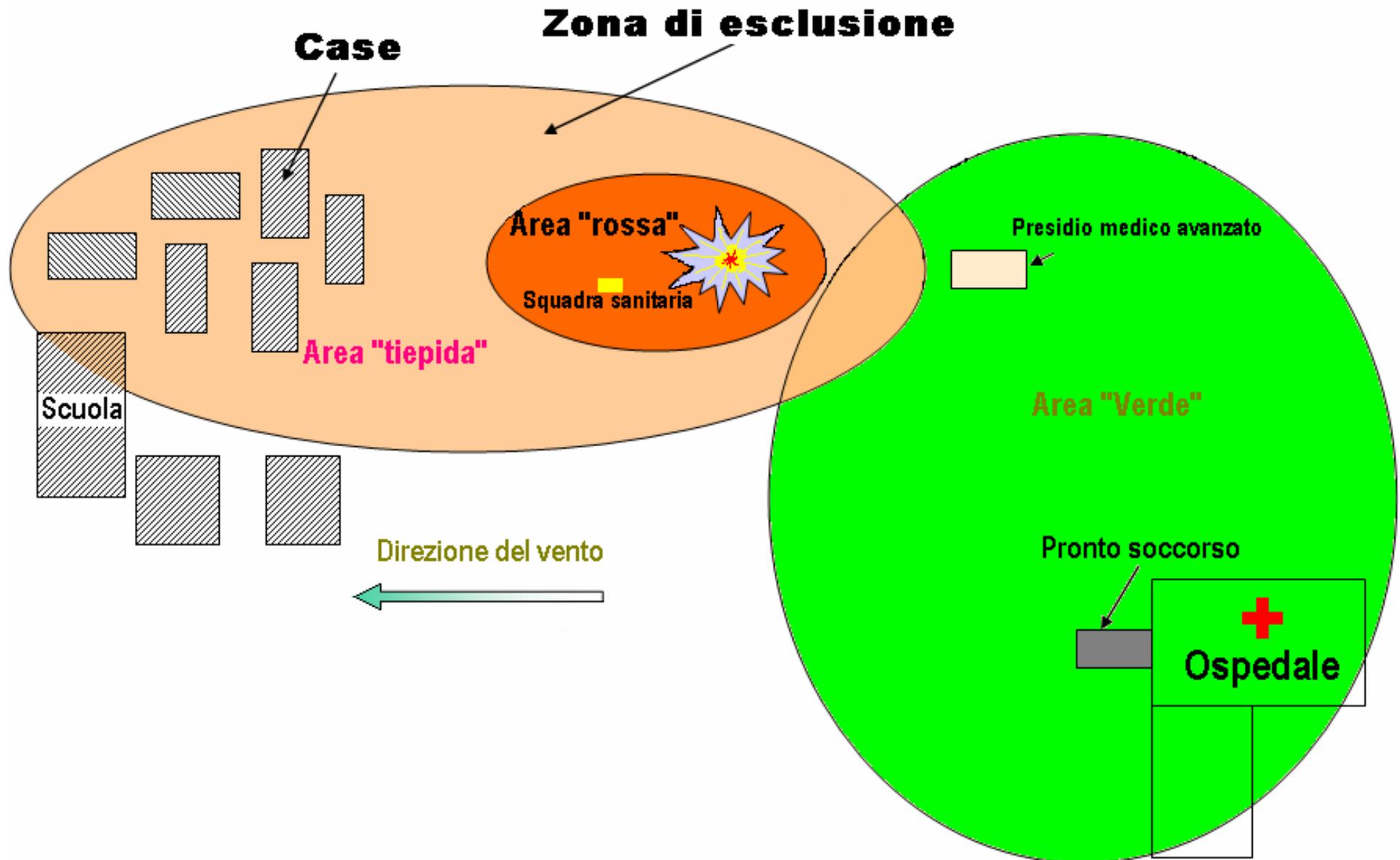
Previsioni di rilascio

- Entità

- Qualità

gassosa
aeriforme
liquida

AREE D'INTERVENTO



PRIORITA' DEGLI INTERVENTI

- *Proteggere i soccorritori e gli “operatori in campo”*
- *Salvare le vittime*
- *Proteggere la popolazione*
- *Proteggere i beni*
- *Recuperare l'ambiente*

PROTEZIONE DEI SOCCORRITORI

- **Formazione**
- **Dotazione dei mezzi di protezione**
- **Dotazione di dosimetro a lettura diretta con allarme**
- **Iodioprofilassi (eventuale)**

SOCCORSO DELLE VITTIME

- Valutare stato clinico delle vittime
- Supportare le funzioni vitali (interventi “salvavita”)
- Selezionare e smistare all’ospedale i più gravi
- Attuare (eventualmente) la iodioprofilassi
- Attuare interventi di decontaminazione esterna
- Prelevare campione di sangue
- Smistare al “Presidio medico avanzato”

PROTEZIONE POPOLAZIONE

- **Misure previsionali**
- **Misure immediate**
- **Misure intermedie**
- **Misure ritardate**

PROTEZIONE DEI BENI

- Interdizione degli accessi
- Controllo delle aree
- Controllo delle persone
-

PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

(per la protezione dell'uomo)

- **Misure veterinarie** (ricovero del bestiame, alimentazione con foraggio protetto,...)
- **Divieto di fiere e mercati**
- **Controlli derrate alimentari**
- **Controlli sull'attuazione del bando di particolari alimenti**
- **Decontaminazione del suolo**
-

VOLUMI DI ARIA INALATA IN 24 ORE PER LE VARIE CLASSI DI ETA'

Adulti

23 m³

Bambini

10 m³

Lattanti

4 m³

VALORI DI CONCENTRAZIONE INTEGRATA IN ARIA
(Bq-d/m³)

	I¹³¹	Cs¹³⁴	Cs¹³⁷
NORD	43,77	3,71	6,50
CENTRO	31,07	6,88	9,85
SUD	17,00	2,50	4,42

**Dose efficace per attività unitaria introdotta
(Sv/Bq)**

Inalazione

Nuclide	Adulti	Bambini (1-10 anni)	Lattanti (0-1 anno)
I-131	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$
Cs-134	$6,6 \cdot 10^{-9}$	$5,2 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$
Cs-137	$4,6 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$8,8 \cdot 10^{-9}$

D.Lgs. 241/00

Rilascio in falda

- *Caratteristiche idrologiche*
- *Caratteristiche geologiche*
- *Caratteristiche chimiche*
- *Porosità e granulometria*
- *Caratteristiche ioniche e densità*
- *Distanza da percorrere*
- *Velocità acqua di falda*
-

CONTAMINAZIONE DELLA FALDA

Modello falda = colonna a scambio ionico

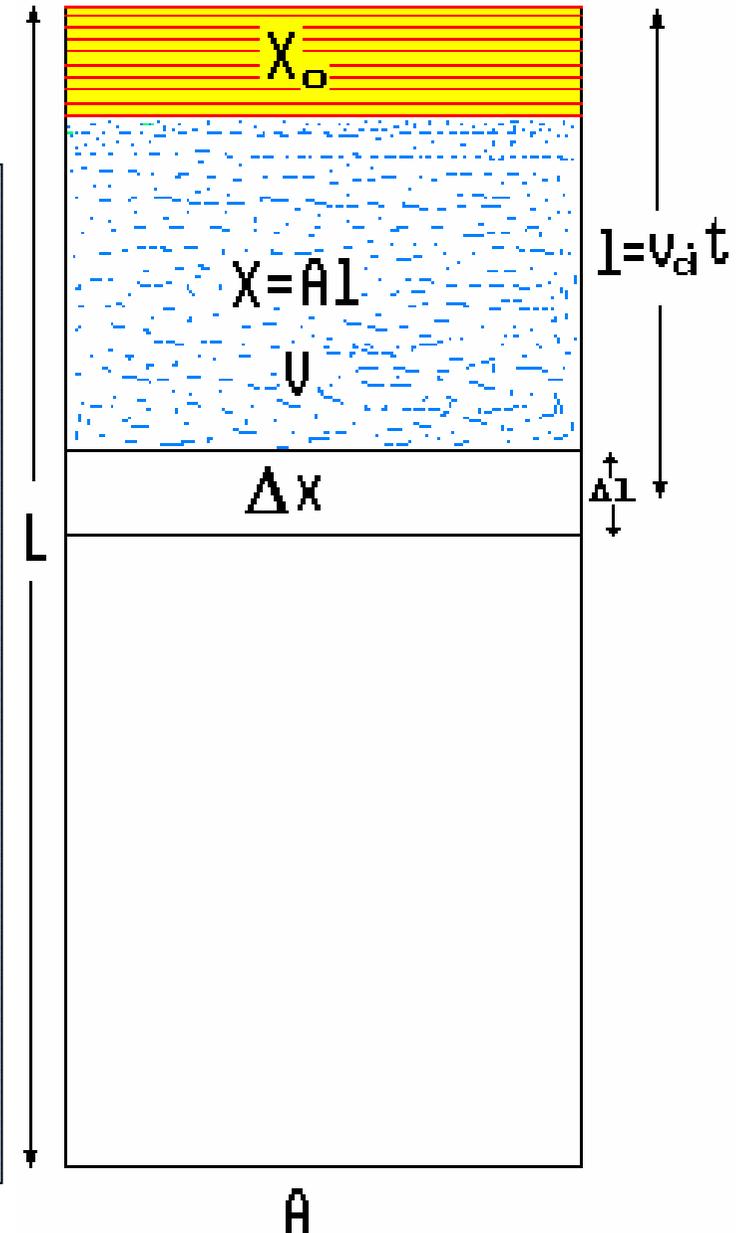
- c concentrazione del radionuclide
- X volume colonna presa in esame al tempo t
- V volume di eluente che ha interessato la colonna al tempo t
- ΔX unità di volume con uniforme concentrazione del radionuclide assorbito e soluto (piatto)
- X_0 volume di colonna interessata nell'intervallo del "rilascio" (Δt)
- v_d velocità di deflusso acqua falda

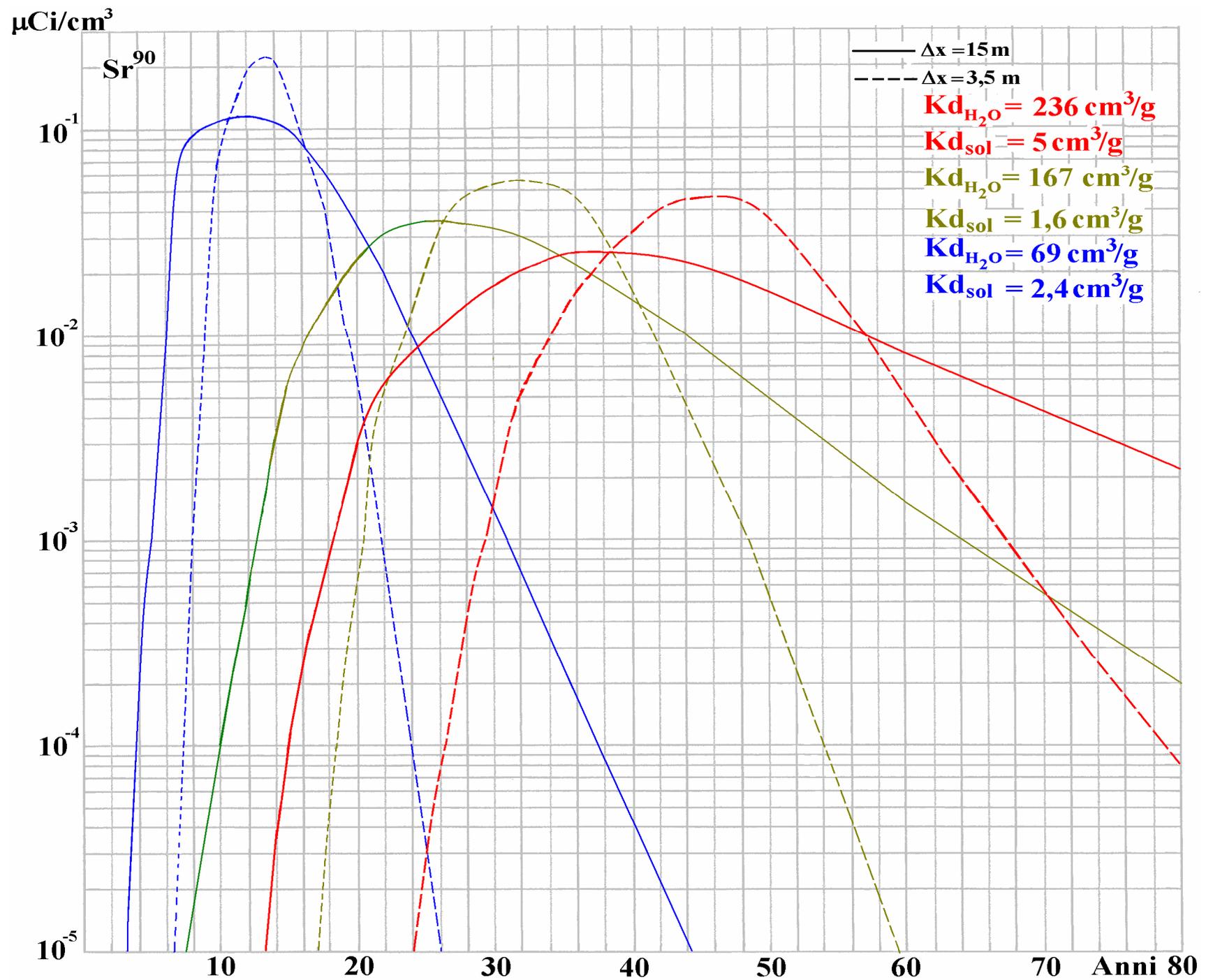
Condizioni iniziali

$$c = c_0 \text{ per } V = 0 \text{ e } 0 < X < X_0$$

$$c = 0 \text{ per } V = 0 \text{ e } X > X_0$$

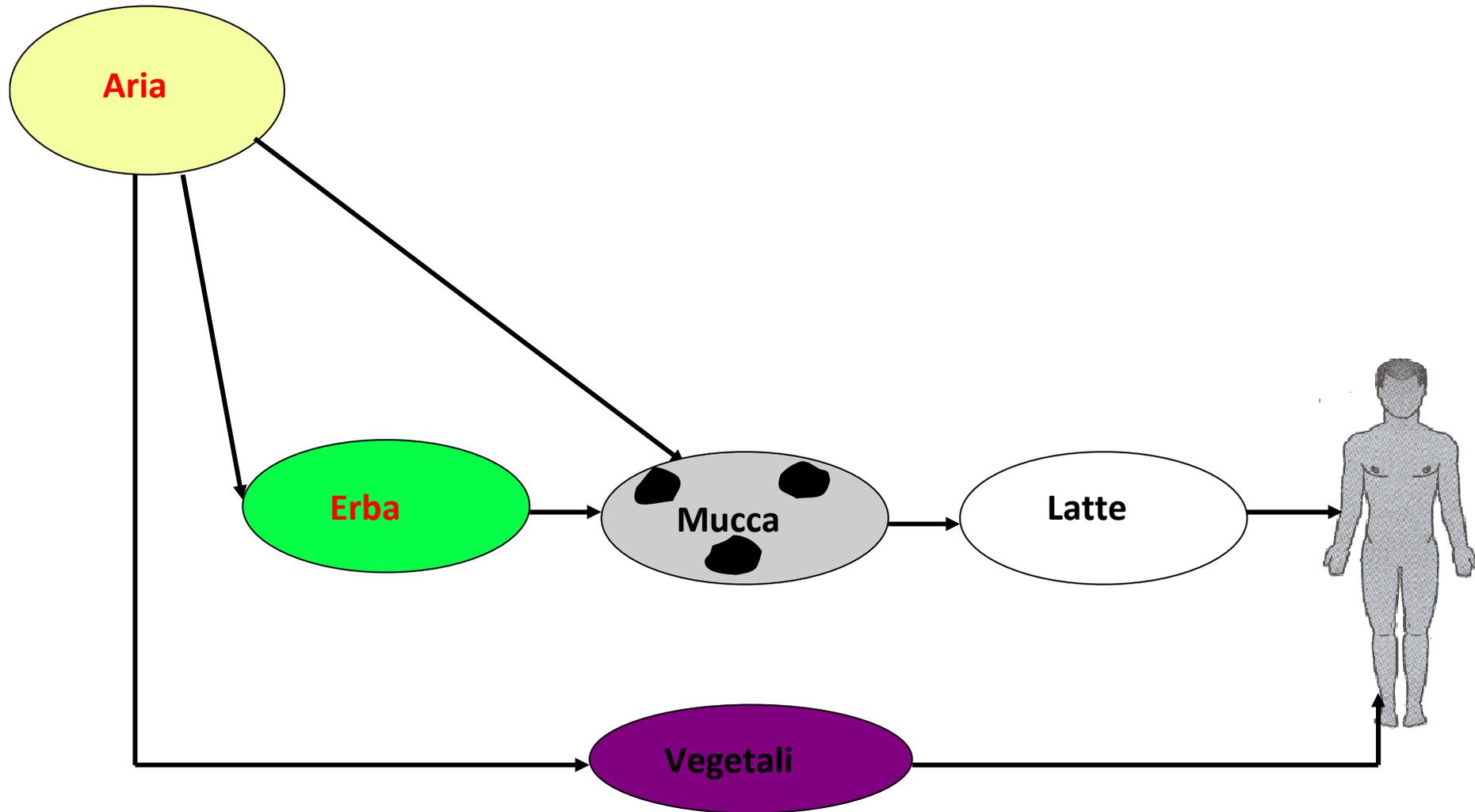
$$c = 0 \text{ per } V > 0 \text{ e } X = 0$$





CONTAMINAZIONE DELLA FLORA E DELLA FAUNA

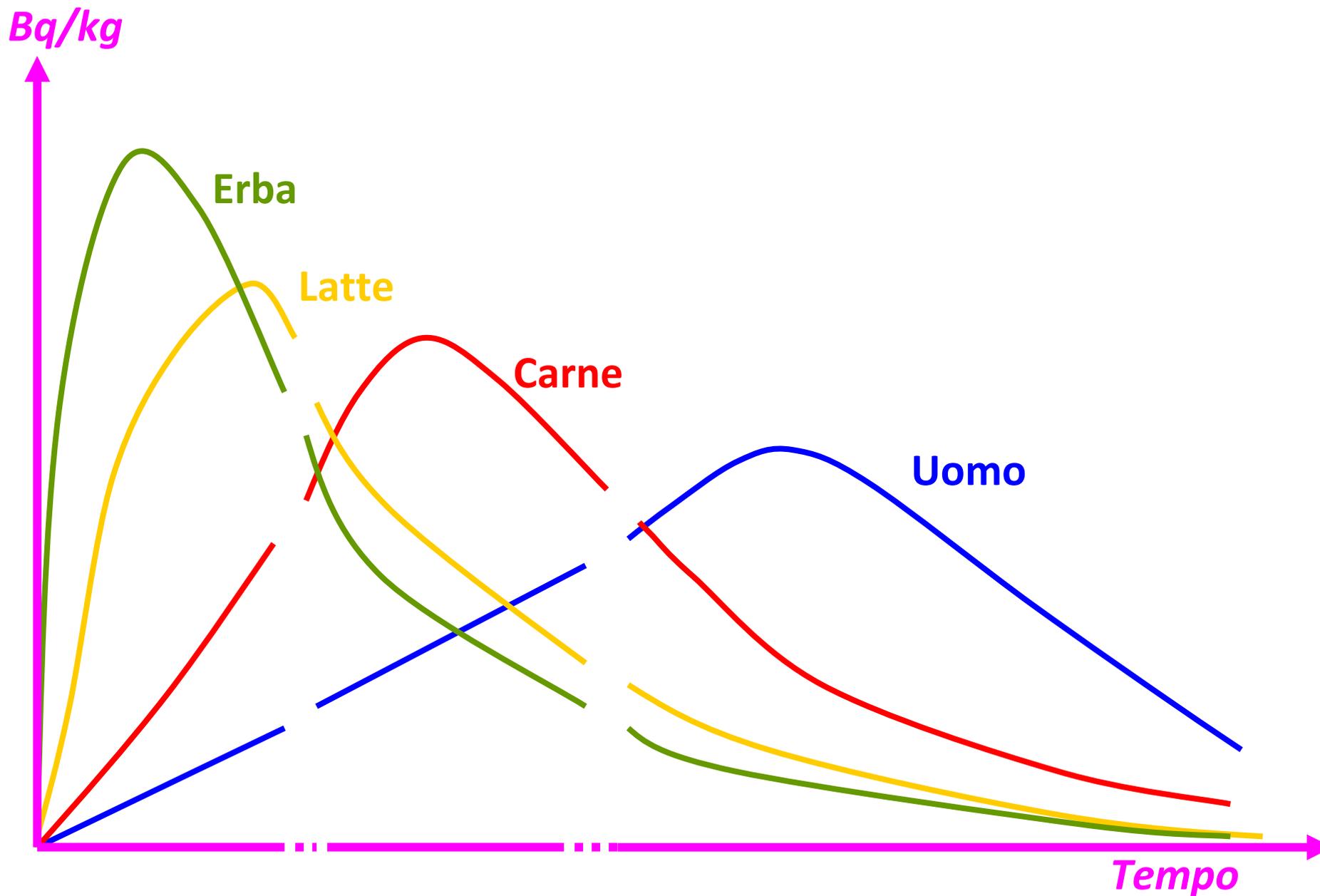
MODELLO DI CONTAMINAZIONE AMBIENTE-UOMO (^{137}Cs)



EQUAZIONI DEL MODELLO AMBIENTALE

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dC_1}{dt} = -k_1 C_1 - \lambda C_1 \\ \frac{dC_2}{dt} = -k_2 C_2 - \lambda C_2 \\ \frac{dC_3}{dt} = f_{t2,3} k_{2,3} C_2 - k_3 C_3 - \lambda C_3 \\ \frac{dC_4}{dt} = f_{t3,4} k_{3,4} C_3 - k_4 C_4 - \lambda C_4 \\ \frac{dQ_5}{dt} = V_1 k_{1,5} C_1 + V_4 k_{4,5} C_4 - k_5 Q_5 - \lambda C_5 \end{array} \right. \quad f_{ti,j} = \left(\frac{C_j}{C_i} \right)_e \cdot \frac{k_i}{k_j}$$

ANDAMENTO CONTAMINAZIONE ^{137}Cs



ATTIVITÀ INTEGRATA SUGLI ALIMENTI INDICATI FINO AL 19/6/1986 (Bq-d/kg o l)

NORD	LATTE VACCINO	FRUTTA	FOR- MAGGIO VACCINO	VEGETALI A FOGLIA	ORTAGGI	CARNE BOVINA	CARNE POLLO	CARNE SUINA
Ba-140	$1,48 \cdot 10^2$	$9,0 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^3$	$1,44 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^2$	$8,5 \cdot 10^1$
Ce-144	$6,3 \cdot 10^1$	$1,5 \cdot 10^2$	$4,7 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^3$	$8,32 \cdot 10^0$			
Cs-134	$1,5 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^3$	$8,5 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^2$	$1,62 \cdot 10^3$	$1,7 \cdot 10^3$	$1,03 \cdot 10^3$
Cs-137	$2,9 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$4,4 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^2$	$2,5 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$
I-131	$4,2 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$1,15 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^2$	$4,4 \cdot 10^2$	$7,2 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$
I-132	$4,6 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$1,19 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^5$	$1,9 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^2$	$8,1 \cdot 10^1$	$8,7 \cdot 10^1$
Ru-106	$3,1 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^2$	$4,7 \cdot 10^3$	$1,02 \cdot 10^4$	$1,03 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^2$		
Sr-90	$2,3 \cdot 10^1$			$2,5 \cdot 10^3$				

**CONSUMI GIORNALIERI DI ALIMENTI
PER LE DIFFERENTI CLASSI DI ETÀ (g)**

	ADULTI	BAMBINI	LATTANTI	FRAZIONE UTILIZZATA
Pane	200	150	10	1
Pasta	100	80	10	1
Carne bovina	70	50	25	0,75
Carne suina	50	30	—	0,75
Pollame	50	30	25	0,75
Carne ovina	4	2	—	0,80
Latte	200	300	700	1
Pesce	30	30	20	0,65
Vegetali a foglia	150	120	25	0,60
Altri vegetali	400	300	25	0,75
Derivati del latte	50	30	5	0,90
Uova	30	30	15	0,90
Frutta	300	300	50	0,70
Olio	50	40	5	1
Vino	250	—	—	1
Contenuto calorico	2116	1718	696	

Nota: Le quantità realmente ingerite giornalmente sono date dal prodotto dei valori di ciascuna della prime tre colonne per il valore della frazione utilizzata. I contenuti calorici tengono conto di tali prodotti.

**Dose efficace per attività unitaria introdotta
(Sv/Bq)**

Ingestione

Nuclide	Adulti	Bambini (1-10 anni)	Lattanti (0-1 anno)
I-131	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
Cs-134	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
Cs-137	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$9,6 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$

D.Lgs. 241/00

DOSE EQUIVALENTE ALLA TIROIDE PER UNITÀ DI ATTIVITÀ DI I-131 INTRODOTTA (Sv/Bq)

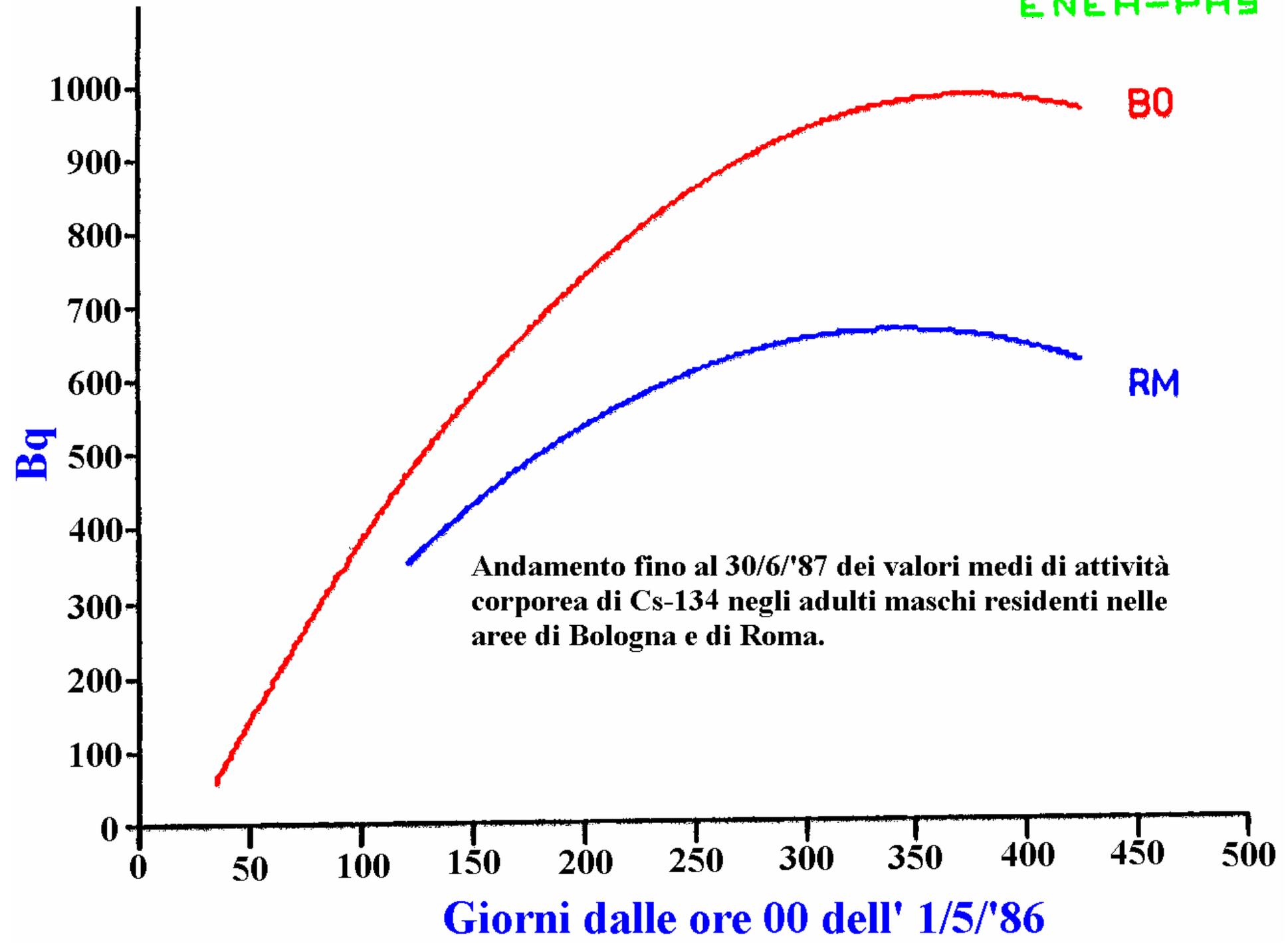
	<i>lattanti</i>	<i>bambini</i>	<i>adulti</i>
<i>Inalazione</i>	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$
<i>Ingestione</i>	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-7}$

DOSE EQUIVALENTE MEDIA ALLA TIROIDE (mSv)

- LATTANTI *0,45*
- BAMBINI *0,53*
- ADULTI *0,25*

DOSE EQUIVALENTE COLLETTIVA ALLA TIROIDE *(Sv-uomo)*

	<i>adulti</i>	<i>bambini</i>	<i>lattanti</i>	<i>totale</i>
Senza				
Interventi	140000	78000	130000	231000
Con				
Interventi	85000	28000	2400	115400



Andamento fino al 30/6/'87 dei valori medi di attività corporea di Cs-134 negli adulti maschi residenti nelle aree di Bologna e di Roma.

DOSE TOTALE

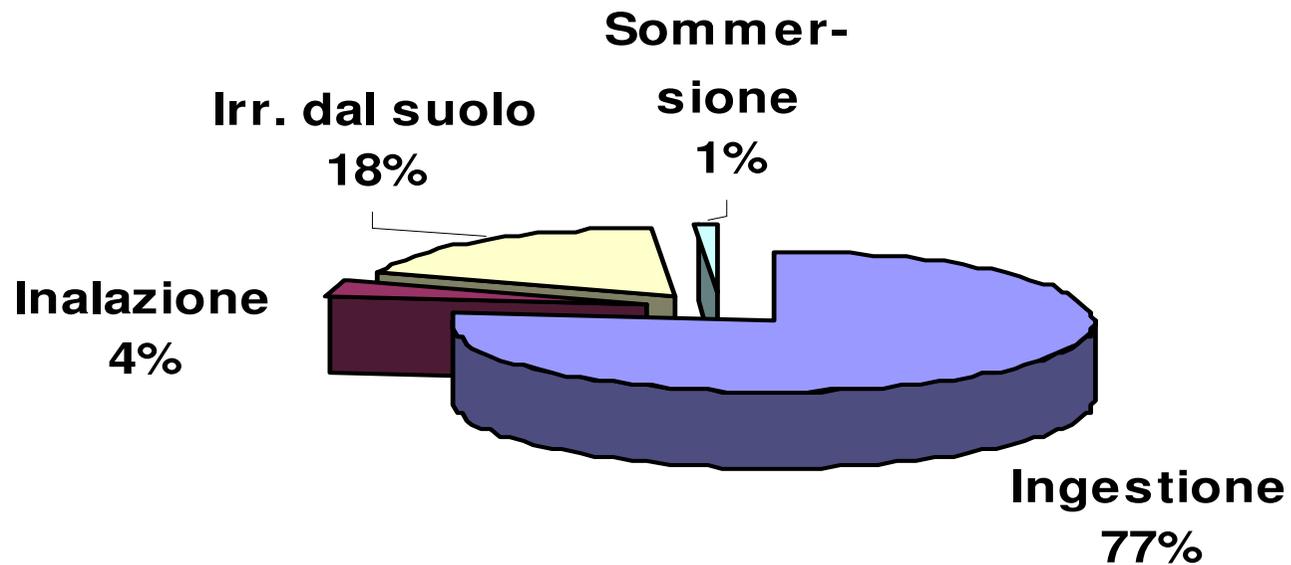
DOSE EFFICACE MEDIA ALLA POPOLAZIONE ITALIANA (mSv)

- **LATTANTI** *0,5*
- **BAMBINI** *0,6*
- **ADULTI** *0,4*

DOSE EFFICACE COLLETTIVA (*Sv-uomo*)

	<i>adulti</i>	<i>bambini</i>	<i>lattanti</i>	<i>totale</i>
Senza				
Interventi	23000	5700	600	29300
Con				
Interventi	20000	3900	300	24400

CONTRIBUTO DELLE VARIE VIE ALLA DOSE EFFICACE TOTALE (0,51 mSv)





MINISTERO DELL'INTERNO

DIPARTIMENTO DEI VIGILI DEL FUOCO, DEL SOCCORSO PUBBLICO E DELLA DIFESA CIVILE

Direzione Centrale per l'Emergenza ed il Soccorso Tecnico

Area VI - Controllo del Rischio NR e dell'impiego pacifico dell'Energia Nucleare

LE EMERGENZE RADIOLOGICHE E NUCLEARI: PROBLEMATICHE RADIOPROTEZIONISTICHE, OPERATIVE E LEGISLATIVE



ISTITUTO SUPERIORE ANTINCENDI

VIA DEL COMMERCIO 13 - ROMA

6-7 marzo 2008



GRAZIE DELL'ATTENZIONE
G. Trenta