

***La Radioprotezione nell' Ambiente, nell'Industria, nella Ricerca
e nella Sanità.***

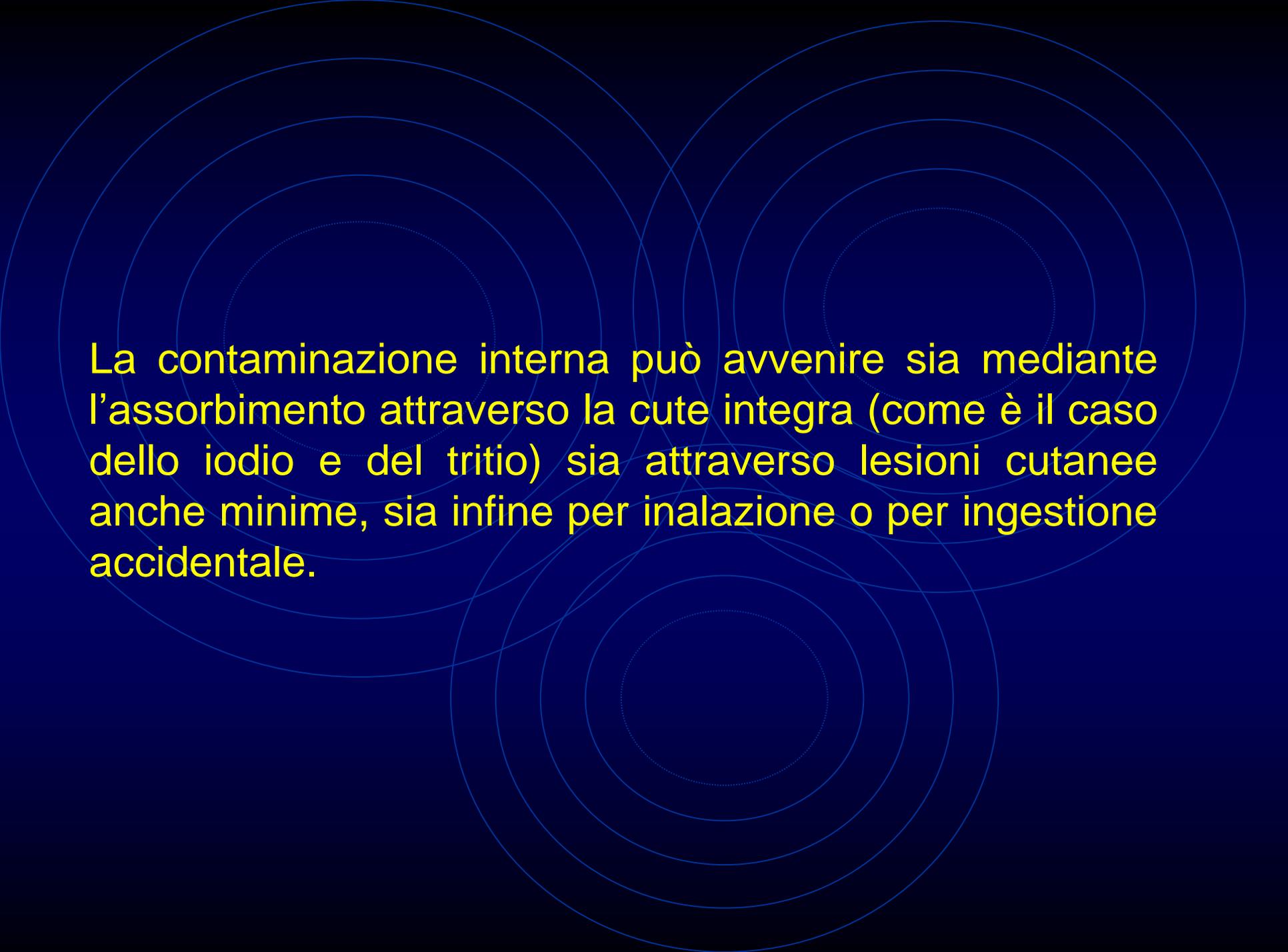
Rende, 16-17 ottobre 2017

**Dosimetria individuale da contaminazione interna:
conoscenze, metodologie, pratica**

**Esperienze nella valutazione di dose da contaminazione
interna in ambiente di ricerca scientifica.**

Daniele Nucci - Esperto Qualificato GSK Vaccines

L'impiego dinamico e innovativo di biotecnologie avanzate, richiedono l'uso di composti organici marcati con radioelementi, come il tritio, il carbonio-14, il fosforo 32 e 33, lo zolfo-35, lo iodio-125. A seconda della natura, delle caratteristiche chimico-fisiche e delle modalità d'impiego, la manipolazione di sostanze radioattive può comportare rischi di esposizione esterna e rischi di contaminazione interna.



La contaminazione interna può avvenire sia mediante l'assorbimento attraverso la cute integra (come è il caso dello iodio e del tritio) sia attraverso lesioni cutanee anche minime, sia infine per inalazione o per ingestione accidentale.

Le attività sperimentali nell'ambito della ricerca sui vaccini, richiedono l'uso di composti organici in forma liquida (non sigillata) marcati con tritio, C^{14} , P^{32} , P^{33} , S^{35} . Inoltre viene utilizzato, sempre in forma liquida, ioduro di sodio (I^{125}) per marcature di anticorpi monoclonali e di proteine.

<i>Isotopo</i>	<i>Attività media manipolata (singola operazione)</i>	<i>Forma chimica</i>	<i>n. addetti</i>	<i>Dipartimento</i>
H³	70 KBq	Timidina	15	Immunologia
C¹⁴	370 KBq	Cloranfenic	2	Bio. Molecolare
P³²	370 KBq	Acidi Nucleici	25	Bio. Molecolare
P³³	370 KBq	Acidi Nucleici	25	Bio. Molecolare
S³⁵	370 KBq	metionina/cisteina	5	Immunologia
I¹²⁵	9,25 KBq	NaI	1	Immunologia
I¹²⁵	40 KBq	Antigeni Vari	5	Immunologia

Il rischio di contaminazione radioattiva, trattandosi di sorgenti in forma liquida, è in pratica limitato alla possibilità di contaminazione interna per ingestione, evenienza prospettabile soltanto in caso di mancato rispetto di norme e procedure operative di sicurezza e protezione. Esiste tuttavia la possibilità di una contaminazione interna da eventi incidentali che possono provocare ferite o inalazioni : si tratta peraltro di evenienze a bassa probabilità.

Per i fini della sorveglianza del rischio effettivo di contaminazione interna negli ambienti di lavoro, si può assumere che è assai improbabile che un lavoratore possa introdurre nell'organismo (per qualsiasi via) una quantità di radionuclidi superiore a 1/1000 dell'attività manipolata o a 1/100 in caso di sostanze volatili.

Un utile semplificazione operativa, per gli scopi della radioprotezione, consiste nell'uso di livelli di riferimento che consentono un immediato confronto con i dati di misura, sia ambientali che individuali (misure dirette in tiroide, misure su urine, ecc.). Comprendono :

livelli di registrazione, al di sotto dei quali il dato non merita di essere registrato;

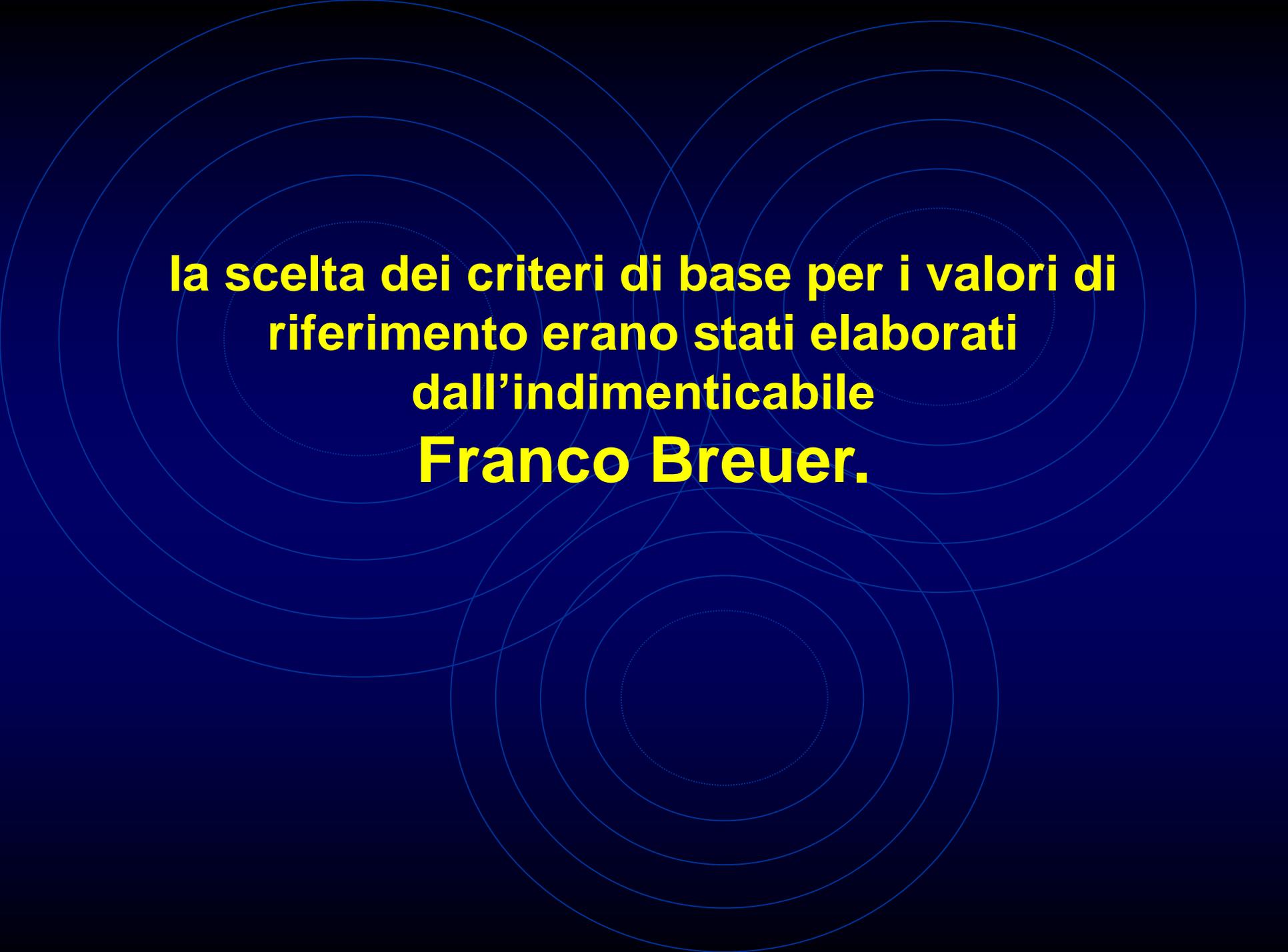
livelli di indagine, il cui superamento richiede ulteriori indagini;

livelli di intervento, il cui superamento può richiedere un intervento correttivo o un intervento medico o di altro tipo.

Nella pratica corrente vengono utilizzati i livelli di riferimento derivati, che sono le attività misurabili nelle urine oppure in tiroide che corrispondono a introduzioni pari ai livelli di riferimento. Questi livelli sono riferiti a determinati intervalli di campionamento. Di particolare utilità sono i livelli di indagine derivati (DIL) il cui superamento fa prospettare la possibilità di una contaminazione accidentale che richiede opportune indagini.

<i>Radionuclide</i>	<i>Forma chimica</i>	<i>ALI Ingestione</i>	<i>ALI inalazione</i>	<i>Metodica</i>	<i>intervallo</i>	<i>DIL urine (Bq/giorno)</i>
H ³	Timidina	2.8E08	2.8E08	β-urine	30 gg	2.5E04
C ¹⁴	Cloramfe.	8.6E07	8.6E07	β-urine	30 gg	4.1E02
p ³²	Acidi nucleici	2.1E07	6.3E07	β-urine	30 gg	6.8E02
p ³³	Acidi nucleici	2.1E08	5.3E08	β-urine	30 gg	9.4E03
S ³⁵	Metionina	6.5E07	4.2E08	β-urine	30 gg	2.4E03
I ¹²⁵	NaI	1.7E06	4.5E06	x-γ tiroide	15 gg	4.2E03*

* DIL tiroide (Bq).



**la scelta dei criteri di base per i valori di
riferimento erano stati elaborati
dall'indimenticabile
Franco Breuer.**

Tritio H 3

emissione : β^-

energia massima : 0,018 MeV

tempo di dimezzamento : 12,3 Y

gruppo di radiotossicità : 4

forme chimiche e caratteristiche biologiche :

sotto forma elementare non si deposita nell'organismo in quantità apprezzabile; come acqua tritiata è assorbito rapidamente in circolo e si diffonde nell'intero organismo; in forma organica si diffonde nell'intero organismo con tempi di ritenzione maggiori rispetto all'acqua tritiata; sotto forma di timidina entra a far parte e si concentra nel DNA.

eliminazione : aria espirata, urine, feci.

Tritio H 3

monitoraggio individuale :

Analisi radiossicologiche nelle urine

(misura per scintillazione liquida)

terapia :

l'unica terapia di emergenza possibile per una contaminazione da tritio è di accelerare il ricambio dell'acqua corporea aumentando l'introduzione di liquidi e promovendo la diuresi. E' possibile ridurre il periodo di dimezzamento biologico del tritio da 10 giorni a 2,4 giorni accrescendo semplicemente il consumo di acqua. Il consumo di birra è consigliato, anche come diuretico.

Carbonio C 14

emissione : β^-

energia massima : 0,155 MeV

tempo di dimezzamento : 5730 Y

gruppo di radiotossicità : 3

forme chimiche e caratteristiche biologiche :

sotto forma di ossido o di anidride non si deposita nell'organismo in quantità elevata; in forma organica è assorbito rapidamente in circolo e si diffonde uniformemente nel corpo intero.

eliminazione : aria espirata, urine, feci.

Carbonio C 14

comportamento metabolico :

quando è parte di una molecola, il destino del C 14 è lo stesso della molecola. Normalmente il processo metabolico porta a formazione di CO₂. Una piccola parte di tali molecole, tuttavia, può essere incorporata in catene facenti parte di strutture il cui ricambio è particolarmente lento (p.es. il collagene). Dopo degradazione della molecola, il C 14 deve essere ricercato nell'aria espirata.

Quando le molecole vengono eliminate intatte, si deve procedere alla misura negli escreti

Carbonio C 14

monitoraggio individuale :

analisi radiotossicologiche nelle urine

(misura per scintillazione liquida) o misura nell'aria espirata.

Il dosimetro personale a TLD non è di alcuna utilità.

terapia :

in considerazione dei brevi tempi di dimezzamento biologico osservati per il

C 14 non è prospettabile una terapia specifica per il carbonio sotto forma di composti organici.

Fosforo 32

emissione : β^-

energia massima : 1,71 MeV

tempo di dimezzamento : 14,3 d

gruppo di radiotossicità : 3

forme chimiche e caratteristiche biologiche :

sotto forma di fosfati : se ingerito viene assorbito in circolo all'80%; se inalato si ha assorbimento rapido e totale e viene assorbito in circolo nell'arco di qualche settimana; il 30 % della quantità assorbita si deposita nelle ossa.

Sotto forma organica : se ingerito viene assorbito in circolo all'80%; se inalato si ha assorbimento rapido e totale in circolo con diffusione uniforme nel corpo intero.

eliminazione : prevalentemente urine.

Fosforo P 32

comportamento metabolico :

dopo ingestione, circa il 75% del fosforo viene assorbito nel tratto gastrointestinale e quindi si distribuisce nell'organismo. La frazione che si deposita nello scheletro è di circa il 37 % della quantità assorbita.

Fosforo P 32

monitoraggio individuale :

analisi radiotossicologiche nelle urine

(misura per scintillazione liquida) o misura nell'aria espirata.

Dosimetro personale a TLD tarato sulle alte energie.

terapia :

poiché il fosforo è un elemento naturale sempre presente nell'organismo, la contaminazione da P 32 può essere trattata con il sistema della diluizione isotopica, mediante la somministrazione di dosi massive : 5 g di PO₄, in un bicchiere d'acqua, cioè due capsule di "Neutrophos" contenenti fosfato dibasico di Na e K e fosfato monobasico di Na e K.

Solfo 35

emissione : β^-

energia massima : 0,71 MeV

tempo di dimezzamento : 87,4 d

gruppo di radiotossicità : 4

forme chimiche e caratteristiche biologiche :

in letteratura viene considerato il solfo elementare sotto forma di polveri, vapori o composti inorganici; nel nostro caso vengono impiegati composti organici marcati, per i quali in caso di ingestione si ha assorbimento in circolo all' 80 %;

per inalazione si ha assorbimento rapido e totale in circolo.

distribuzione : diffusione omogenea nel corpo intero

eliminazione : prevalentemente urine.

Solfo S 35

monitoraggio individuale :

analisi radiotossicologiche nelle urine

(misura per scintillazione liquida)

terapia :

il solo trattamento possibile in caso di contaminazione interna da solfo radioattivo è la diluizione isotopica mediante l'uso di composti stabili (iposolfito di magnesio) in grandi quantità. Per contaminazione con molecole marcate con S 35, il trattamento ideale sarebbe di somministrare la dose più alta possibile della stessa molecola di solfo in forma stabile.

Destino biologico dei contaminanti radioattivi

Il destino biologico dei contaminanti radioattivi viene descritto nelle seguenti fasi :

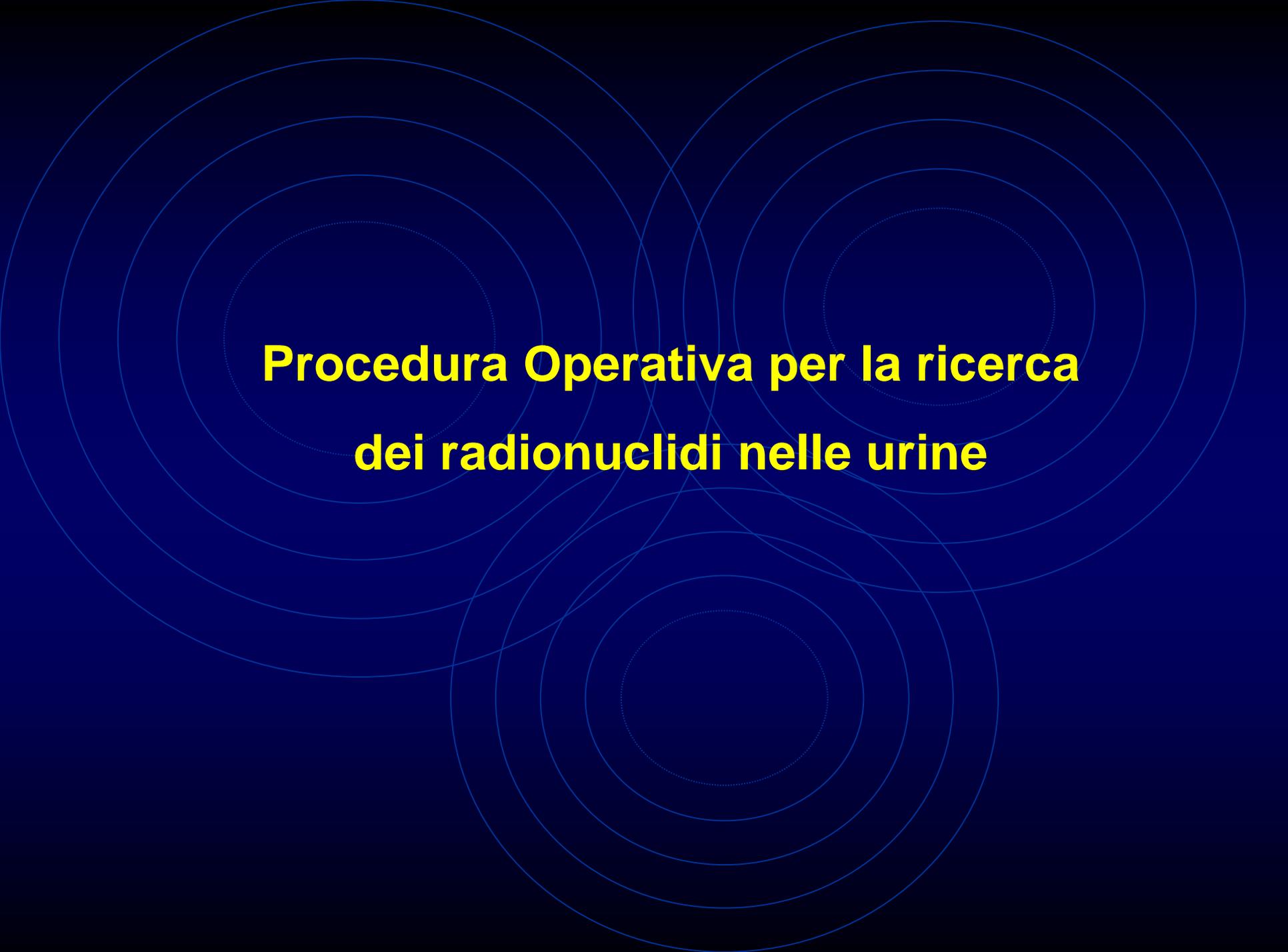
introduzione : ingresso delle sostanze radioattive nell'organismo per varie vie (inalazione, ingestione, assorbimento percutaneo, ferita);

incorporazione : passaggio in circolo di tutta o parte della sostanza introdotta;

deposito : fissazione della sostanza assorbita in particolari organi e tessuti;

eliminazione : allontanamento biologico della sostanza fissata (urine, feci, sudore, aria espirata);

accumulo : risultante dall'equilibrio tra deposito ed eliminazione biologica, riferito ad un'introduzione di tipo continuo.

The background features three overlapping target patterns, each consisting of several concentric circles. The targets are positioned in the upper-left, upper-right, and lower-center areas of the slide. The text is centered over the intersection of these patterns.

**Procedura Operativa per la ricerca
dei radionuclidi nelle urine**

Catena di conteggio : Analizzatore Scintillazione Liquida;

Preparazione Campioni : Per ogni persona sottoposta a controllo, vengono preparati due campioni di 1 ml di urina con l'aggiunta di 10 ml di liquido scintillante che vengono contati nel canale dell'isotopo di riferimento;

Modalità di conteggio : n. 2 campioni per persona letti 3 volte con un tempo di 3 minuti per ogni radionuclide impiegato.

L'analizzatore utilizzato a scintillazione liquida ha incorporato un sistema di taratura mediante soluzioni radioattive standards, i valori medi di efficienza per i radionuclidi utilizzati sono :

P³² 0,98

C¹⁴ 0,95

H³ 0,66

Valutazione della dose assorbita

Partendo dalla concentrazione in Bq/ml, ottenuta dalla misura in cps, (sottratto il fondo quindi cps netti) diviso l'efficienza della catena di conteggio, il valore dell'escreto in Bq/d sarà uguale alla concentrazione in Bq/ml moltiplicato 1400 (escrezione media urinaria al giorno in ml).

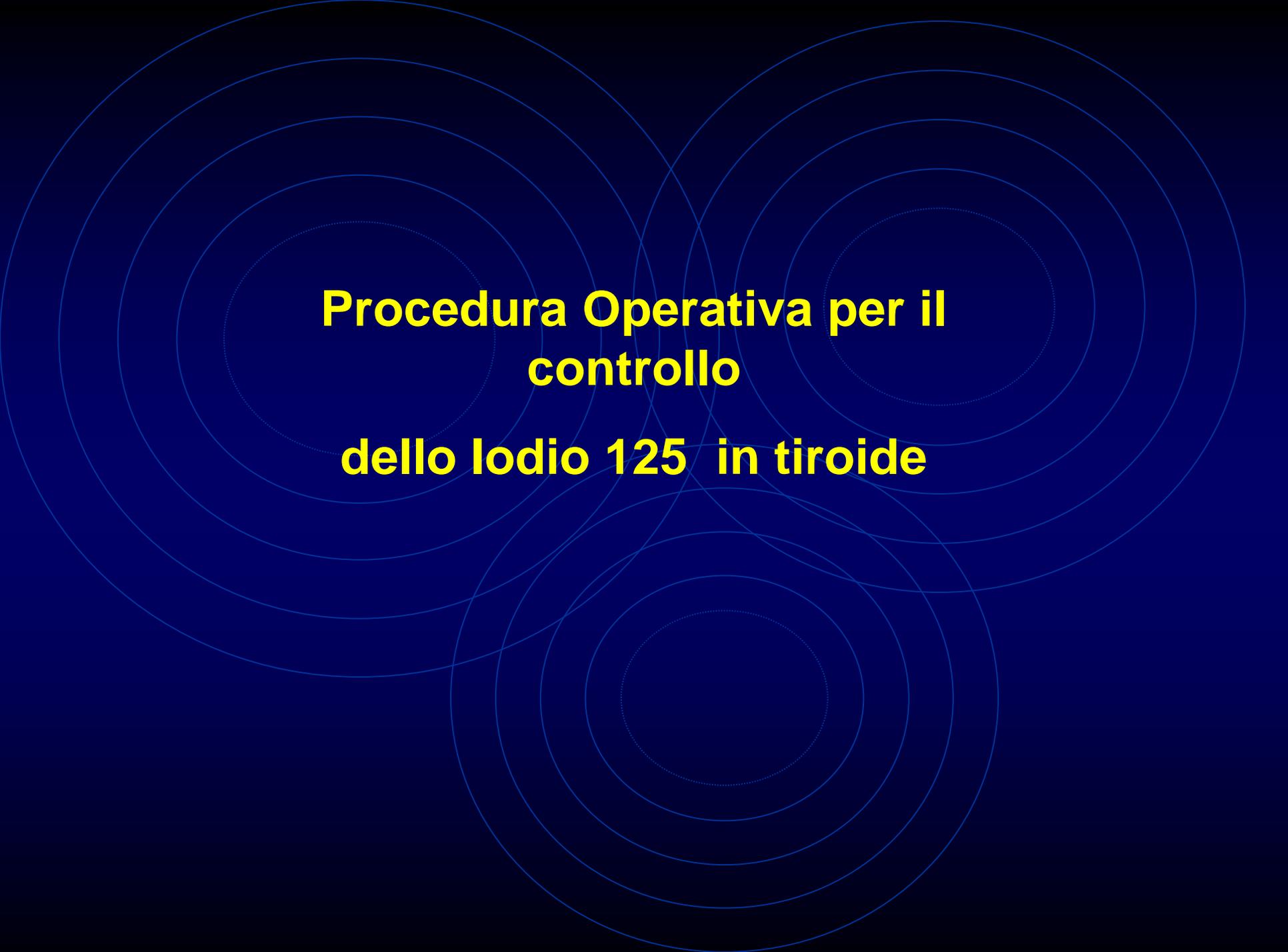
Valori per il calcolo della attività (Bq) e della dose assorbita (μSv)

Esempio del P^{32}

$$\text{Attività} = \text{Escreto Bq/d} \times 315$$

$$\text{Dose assorbita} = \text{Escreto Bq/d} \times 0,75^*$$

* 0,75 è ottenuto dai fattori di dose raccomandati dalle ICRP (0,0024 $\mu\text{Sv/Bq}$ per ingestione moltiplicato il coefficiente 315).



**Procedura Operativa per il
controllo
dello Iodio 125 in tiroide**

Catena di conteggio : ACN Gammaquattro/C Rivelatore NaI 1^{1/2}
H.V. = 710 V Canale A : finestra 0-90 keV
tempo di misura : 100 secondi

Sorgenti di taratura : n. 1 sorgente standard di I¹²⁹ con attività di 1850 Bq da utilizzare per la verifica prima di ogni serie di misure dell'efficienza della catena di conteggio.

n. 2 sorgenti di I¹²⁵ attività circa 1000Bq ciascuna da utilizzare per la determinazione dell'efficienza della catena di conteggio.

Fantoccio tiroideo : Realizzato in plexiglass permette l'inserimento delle sorgenti di riferimento per simulare la misura in tiroide.

Determinazione efficienza catena di conteggio K

Effettuate 10 letture di fondo e determinato il valore medio F_m , effettuate 10 letture delle sorgenti di riferimento I^{129} e I^{125} e determinato i valori medi $L_m I^{129}$ e $L_m I^{125}$, determinate l'efficienza della catena di conteggio :

$$\text{Eff. } I^{125} = L_m I^{125} - F_m$$

$$\frac{\quad}{\text{Bq } I^{125} \cdot 100}$$

L'efficienza che servirà per la verifica settimanale :

$$L_m I^{129} - F_m$$

$$\frac{\quad}{\text{Bq } I^{129} \cdot 100}$$

Determinazione efficienza catena di conteggio K

Si determina il rapporto K tra le due efficienze:

$$**K = \text{Eff. } I^{129} / \text{Eff. } I^{125}**$$

Determinati i valori dei livelli di :

LD (livelli di Decisione) \times σ (deviazione standard)

LR (Livelli di rivelazione) \times σ (deviazione standard)

LM (livelli di Misura) \times σ (deviazione standard)

Controllo del personale

Operazioni preliminari :

Verificate le condizioni operative della catena di conteggio, si effettuano cinque letture di fondo per determinare F_m ; cinque letture della sorgente di I^{129} inserita nel fantoccio per determinare $Eff. I^{129}$ e si determina l' $Eff.$ di I^{125} .

Operazioni di misura :

Si avvicina il rivelatore alla parte del collo interessata e si effettuano 3 conteggi, si determina il valore medio C_m e si determina il valore di attività in tiroide in Bq :

$$C_m - F_m$$

$$Eff. I^{125} \cdot 100 \text{ s}$$

Grazie per la vostra attenzione

