

USO DI URANIO DEPLETO IN MICROSCOPIA ELETTRONICA: VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI ESPOSIZIONE

Giroletti E (), Lanfranchi L (+), Luciani A (#), Tarroni G. (#)*
- in ordine alfabetico -

(*) Dip. Fisica nucleare e teorica, Università degli Studi, Pavia

(+) Centro Grandi Strumenti, Università degli Studi, Pavia

(#) Istituto di Radioprotezione, ENEA, Bologna

**pubblicato su
GIORNALE DEGLI IGIENISTI INDUSTRIALI, AIDII
vol. 28: n.2 - aprile 2003 - pp: 103-108**

Riassunto

Nel presente lavoro si è valutato il rischio di esposizione connesso all'utilizzo dell'acetato di uranile diidrato come colorante di campioni sottoposti ad analisi mediante microscopia elettronica.

I risultati della valutazione delle dosi impegnate mostrano un rischio individuale basso – dose efficace annua pari a circa 600 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$ – nelle condizioni più cautelative-, purché siano adottate le misure di tutela previste per l'uso di agenti chimici tossici e materiali radioattivi in forma non sigillata: dispositivi di protezione individuale, cappa e adeguata formazione degli operatori.

Abstract

In present work the authors estimated the exposure risk related to the use of uranyl acetate dihydrate in colouring of specimens to be analysed by means of transmission electronic microscopy.

The evaluation of individual doses shows that the individual risk –in most conservative conditions- is low -effective annual dose approximately 600 $\mu\text{Sv}/\text{year}$ -, so long as the measures for the individual protection using toxic chemical agents and not sealed radioactive materials are adopted: individual protection devices, hood and an adequate training program on radiation protection.

Introduzione

Accanto alle più comuni applicazioni dell'uranio impoverito in ambito civile, ad esempio come materiale schermante di radiazioni o nei contrappesi per l'industria aeronautica, si deve annoverare anche l'utilizzo dell'uranio impoverito come mezzo di contrasto in microscopia elettronica.

Nel presente lavoro si è valutato il rischio di esposizione connesso all'utilizzo dell'acetato di uranile diidrato come colorante di campioni sottoposti ad analisi mediante microscopia elettronica. Le valutazioni sono basate sulle quantità manipolate e sulle condizioni di utilizzo in uso presso il Centro Grandi Strumenti dell'Università degli Studi di Pavia.

Sebbene le quantità utilizzate siano in genere relativamente modeste, il composto è comunque caratterizzato da una significativa tossicità chimica e radiologica. La tossicità chimica dell'acetato di uranile in seguito ad ingestione o inalazione è principalmente dovuta agli effetti tossici a livello renale (nefrotossicità). La tossicità radiologica è data dalle diverse emissioni di tipo alfa e beta che caratterizzano il decadimento radioattivo dell'uranio e dei suoi prodotti di decadimento. Data la scarsa capacità di penetrazione di tali radiazioni, il rischio radiologico dovuto all'esposizione diretta (esterna) risulta trascurabile; il rischio radiologico è quindi legato essenzialmente all'eventualità di un'introduzione (per ingestione od inalazione) all'interno del corpo umano.

Nell'ambito della presente nota è stato considerato il rischio radiologico da esposizione interna in seguito ad introduzione di acetato di uranile nel corpo umano.

La sorgente

Le principali caratteristiche del composto di uranio impoverito sono le seguenti (1, 2):

- Composto: acetato di uranile diidrato
- Formula: $\text{UO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Peso molecolare: 424,14
- Isotopo: ^{238}U al 99,7% in peso (impoverito) ($T_{1/2}=4,47 \cdot 10^9$ anni) – vista la durata della conservazione della polvere madre, si può considerare in equilibrio con i prodotti di decadimento a vita breve: ^{234}Th ($T_{1/2}=24,1$ giorni); $^{234\text{m}}\text{Pa}$ ($T_{1/2}=1,17$ min); ^{234}Pa ($T_{1/2}=6,70$ ore); il successivo prodotto di decadimento è ^{234}U che ha un $T_{1/2}$ pari a $2,45 \cdot 10^5$ anni;
- Isotopo: ^{235}U 0,3% in peso ($T_{1/2}=7,04 \cdot 10^8$ anni) – vista la durata della conservazione della polvere madre, si può considerare in equilibrio con il ^{231}Th ($T_{1/2}=25,5$ ore); il ^{231}Pa è il successivo prodotto a vita lunga $T_{1/2}$ pari a $3,28 \cdot 10^4$ anni;
- Isotopo: ^{234}U 0,0005% in peso ($T_{1/2}=2,45 \cdot 10^5$ anni) – il successivo prodotto di decadimento è il ^{230}Th che ha un $T_{1/2}$ pari a $7,54 \cdot 10^4$ anni;
- Attività specifica del composto: 10400 Bq/g -0,281 $\mu\text{Ci/g}$;
- Confezione originale da 50 g sotto forma di polvere;
- Numero di CAS del composto: 6159-44-0.
- Solubilità: 7.694 g/100 ml H_2O a 15° C (3).

Modalità di utilizzo dell'acetato di uranile

L'acetato di uranile diidrato è utilizzato nella preparazione dei campioni da sottoporre ad analisi mediante microscopia elettronica.

Per le colorazioni viene preparata una soluzione di acetato di uranile in acqua distillata; la letteratura e la prassi riportano concentrazioni di tale soluzione variabili entro l'intervallo 1 – 5 % peso/volume (1-5 grammi in 100 ml). La sostanza tal quale (solido polverulento di colore giallo) viene pesata e sciolta in acqua distillata. Poiché la dissoluzione è particolarmente difficoltosa, si procede spesso alla sonicazione oppure si mantiene sotto

agitazione per tutta la notte. Quantità tipiche di soluzione preparata di volta in volta (annualmente) possono essere 100 ml. L'attività specifica per unità di volume di questa soluzione è pari a 520 kBq/l (14,1 μ Ci/l).

Operativamente ogni singola manipolazione è data dalla preparazione di 1 preparato per microscopia (detto "reticella"), vedasi le figure 1, 2 e 3. Per ciascun campione da sottoporre ad analisi vengono generati 3 preparati; un numero tipico di campioni da considerare per una giornata lavorativa può essere pari a 5. L'utilizzo dell'acetato di uranile comporta la deposizione su supporto inerte (parafilm, cera da dentista) di un numero di gocce di soluzione pari al numero di reticelle da colorare; il volume medio di una goccia è pari a circa 33 microlitri (stima effettuata mediante pesata su bilancia analitica di gocce deposte mediante pipetta pasteur standard). Su tali gocce vengono deposte le reticelle da colorare (vedasi foto 1 e 2). Avvenuta la colorazione (il tempo di contatto medio è pari a 15 minuti) le reticelle vengono lavate con acqua distillata mediante spruzzetta assorbendo i residui di tale lavaggio su carta da filtro. Carta da filtro viene utilizzata anche per assorbire i residui della soluzione utilizzata per la colorazione. La soluzione residua può essere conservata per gli usi successivi.

In base alle indicazioni operative si può ipotizzare un utilizzo di 100 mL/anno di soluzione (0,033 ml/prep. x 3 prep./camp. x 5 camp./giorno x 200 giorni/anno), pari a 52,0 kBq/anno.

Tutte le operazioni descritte, ed in particolare la preparazione della soluzione di acetato di uranile, avvengono sotto cappa aspirante, in una "vaschetta" con il ripiano ricoperto di carta assorbente. L'operatore indossa, oltre al camice a maniche lunghe, i dispositivi di protezione individuale di laboratorio chimico, quali guanti in gomma naturale o vinile (norma EN 421, referenza 4) e gli occhiali antischizzo, qualora non si operasse sotto cappa. La durata media di ciascuna manipolazione è di circa 30 minuti, tenendo conto del tempo di contatto fra soluzione e campione.

I prodotti puri, i residui di preparazione e gli eventuali accessori utilizzati sono quindi contenuti in un armadietto schermato dedicato alla loro conservazione.

In seguito a tali operazioni non si ha la produzione di residui liquidi ma solamente di residui solidi, rappresentati essenzialmente dalla carta di filtro. I rifiuti derivanti dalle attività vengono allontanati mediante conferimento a ditte regolarmente autorizzate ai sensi di legge (DLgs 230/95 e succ. mod. ed int. (5)), essendo vietato lo smaltimento in ambiente in assenza di nulla osta di radioisotopi con tempo di dimezzamento superiore a 75 giorni; misura che riteniamo oltremodo restrittiva visto che le attività che si intendono allontanare in termini di concentrazioni sono ampiamente inferiori a quelle presenti in natura e l'attività annua si limiterebbe al massimo a qualche kilobecquerel.

Caratteristiche dell'esposizione interna

In base alla descrizione delle condizioni di utilizzo del composto il rischio di esposizione interna è dato dall'eventuale introduzione del composto stesso per inalazione. Altre vie di introduzione come l'ingestione risultano scarsamente rilevanti, qualora siano rispettate le più basilari norme di radioprotezione (ad esempio divieto di consumo di cibi e bevande nel laboratorio dove si manipolano sostanze tossiche ovvero materie radioattive non sigillate). Il rischio di inalazione è essenzialmente presente in fase di allestimento dei preparati (reticelle) data la loro frequente preparazione (3 prep./camp. x 5 camp./giorno x 200 giorni/anno = 3000 manipolazioni annue comportanti ciascuna l'utilizzo di 0,033 ml di soluzione). La preparazione della soluzione avviene molto più sporadicamente dal momento che vengono preparati 100 ml di soluzione che sono sufficienti per un anno.

Verranno considerate quindi le operazioni di preparazione della soluzione e di allestimento dei preparati ai fini del rischio di esposizione interna per inalazione.

Valutazioni dosimetriche

Nelle valutazioni dosimetriche effettuate il contributo alla dose impegnata deriva essenzialmente dall'isotopo 238 dell'uranio mentre gli altri isotopi (^{235}U , e ^{234}U) hanno un contributo trascurabile. E' stato considerato il contributo alla dose efficace impegnata dovuto ai figli dei vari isotopi dell'uranio impoverito (^{234}Th , ^{234}Pa , $^{234\text{m}}\text{Pa}$, ^{231}Th) presenti in equilibrio radioattivo al momento dell'introduzione (nel composto utilizzato per preparare la soluzione o nella soluzione stessa utilizzata per allestire i preparati), ma risulta anch'esso trascurabile.

Nella Tabella 1 sono riportati i coefficienti di dose efficace per inalazione di ^{238}U nelle condizioni standard di esposizione per un lavoratore (6). Per confronto sono riportati anche i coefficienti di dose efficace impegnata in caso di introduzione per ingestione. Si osserva che l'introduzione per ingestione, ritenuta improbabile nelle condizioni operative di utilizzo dell'acetato di uranile, è anche caratterizzata da coefficienti di dose fino a tre ordini di grandezza inferiori rispetto all'introduzione per inalazione. Quest'ultima via di introduzione è quindi realistica ai fini della valutazione del rischio e allo stesso tempo anche più conservativa rispetto all'introduzione per ingestione. Nell'ambito dell'introduzione per inalazione, il più alto coefficiente di dose è relativo ai composti dell'uranio con tipo di assorbimento S (slow) nel tratto respiratorio.

Tabella 1: Coefficienti di dose efficace impegnata per unità di attività introdotta (Sv/Bq) in caso di introduzione di ^{238}U per inalazione (diametro aerodinamico mediano in attività 5 μm) e per ingestione (5).

F (a)	Inalazione		Ingestione	
	M (a)	S (a)	$f_1=0.02$ (b)	$f_1=0.002$ (b)
$5.8 \cdot 10^{-07}$	$1.6 \cdot 10^{-06}$	$5.7 \cdot 10^{-06}$	$4.4 \cdot 10^{-08}$	$7.6 \cdot 10^{-09}$

(a) : Classi di assorbimento polmonare (F: fast, M: moderate, S: slow).

(b) : Frazione assorbita in fase sistemica dal tratto gastrointestinale.

Le valutazioni dosimetriche richiedono una stima preliminare dell'attività che può essere introdotta dall'operatore, cioè della frazione di materiale radioattivo che, manipolata dall'operatore, può essere inalata dallo stesso (fattore di introduzione: attività introdotta per unità di attività manipolata). L'adozione di un certo fattore di introduzione risulta sempre piuttosto difficile a causa dei numerosi parametri che ne determinano il valore tra cui possono essere citati la modalità di manipolazione (utilizzo o meno di cappe aspiranti), volatilità del composto, durata dell'operazione e infine perizia dell'operatore stesso nell'eseguire le operazioni. Imperizia che sarebbe maggiore qualora queste operazioni (in particolare la preparazione della soluzione madre a partire dal composto) fossero assegnate a soggetti poco preparati, quali gli studenti. I valori del fattore di introduzione utilizzati nella pratica radioprotezionistica sono generalmente dell'ordine di 10^{-4} - 10^{-5} . Nelle successive valutazioni dosimetriche è stato adottato un valore dell'ordine di 10^{-3} , che pertanto risulta estremamente cautelativo anche considerando che le operazioni avvengono normalmente sotto cappa aspirante. Le stime di dose calcolate sono comunque proporzionali al fattore stesso di introduzione e quindi possono essere variate semplicemente correggendole per un eventuale diverso fattore di introduzione adottato.

Nell'operazione di preparazione della soluzione (diluizione di 5 g del composto in 100 ml acqua distillata), in base all'adozione del fattore di introduzione di 10^{-3} , si ottiene una stima di dose efficace di circa 300 μSv nel caso di composti dell'uranio con tipo di assorbimento S (slow). Più realisticamente, dal momento che la classe S viene

generalmente utilizzata per composti altamente insolubili (tipo ossidi di uranio), le dosi effettive possono essere anche inferiori, poiché i coefficienti di dose per gli altri tipi di assorbimento sono inferiori. Nel caso di composti di tipo F si ha una stima di dose di un ordine di grandezza inferiore.

Nel corso dell'operazione di allestimento dei preparati (reticelle) mediante la soluzione di acetato di uranile, sempre adottando un fattore di introduzione di 10^{-3} , si ottiene una stima di dose efficace impegnata (in seguito all'esecuzione di 3000 manipolazioni all'anno) pari a 300 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$ per composti di tipo S e valori fino ad un ordine di grandezza inferiori in caso di composti di classe di assorbimento inferiori (F). Vale la pena rilevare che le operazioni effettuate con modeste attività di acetato di uranile sono da considerarsi "molto semplici" e di conseguenza non sono ipotizzabili incidenti tali da comportare la valutazione di esposizioni potenziali oltre quelle già considerate.

Conclusioni

Le stime di valutazione di dose individuale riportate, seppur effettuate sulla base di alcune generali considerazioni circa le modalità di operazione e manipolazione del composto radioattivo, indicano un rischio radiologico dovuto all'esposizione interna sostanzialmente inferiore ai limiti di dose previsti per i lavoratori non esposti (1000 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$), e pari a circa 600 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$ (considerando il contributo dovuto sia alla preparazione della soluzione che alla preparazione dei campioni), supponendo che l'operatore che prepara la soluzione sia anche quello che effettua tutte le colorazioni. Ciò è ulteriormente supportato dalle ipotesi estremamente cautelative adottate circa la via di introduzione (inalazione comportante i più elevati coefficienti di dose efficace) e il fattore di introduzione (valore particolarmente elevato tenendo conto dell'esecuzione delle manipolazioni in presenza di cappe aspiranti e del rispetto delle norme di buona tecnica previste in qualsiasi laboratorio chimico che utilizzi sostanze tossiche). La formazione del personale, pertanto, gioca come sempre un ruolo importante nel mantenere minime ed ottimizzare le dosi assorbite dai lavoratori e dai soggetti ad essi equiparati, quali sono gli studenti.

Naturalmente le dosi, che devono essere valutate dall'esperto qualificato, possono essere diverse in funzione del carico di lavoro del soggetto interessato, con particolare riferimento alle attività manipolate annualmente ed allo scenario di utilizzo e di contaminazione.

Da rilevare che l'utilizzo di acetato di uranile nei laboratori rientra negli ambiti di applicazione del DLgs 230/95 e succ. modif. integr. e rettifiche; la valutazione dei rischi deve essere conseguentemente effettuata da un esperto qualificato, laddove sia incaricato.



Figura 1: acetato di uranile in polvere e in soluzione

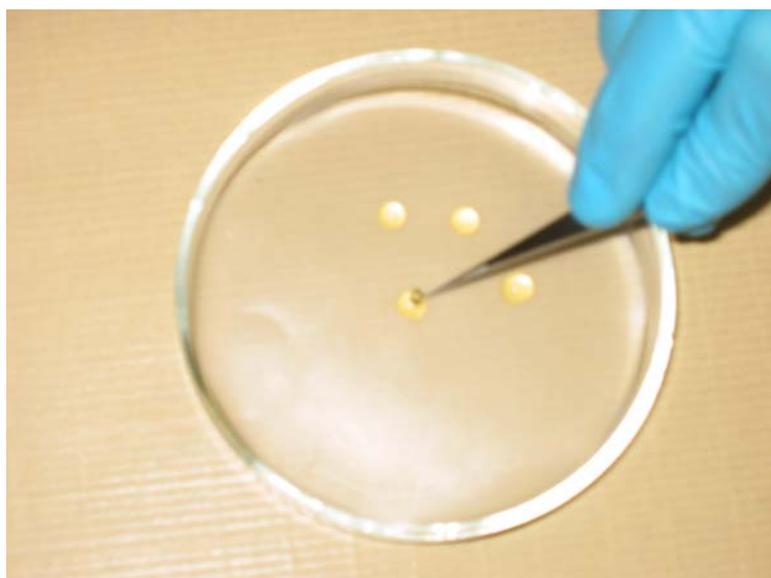


Figura 2: preparati per microscopia elettronica

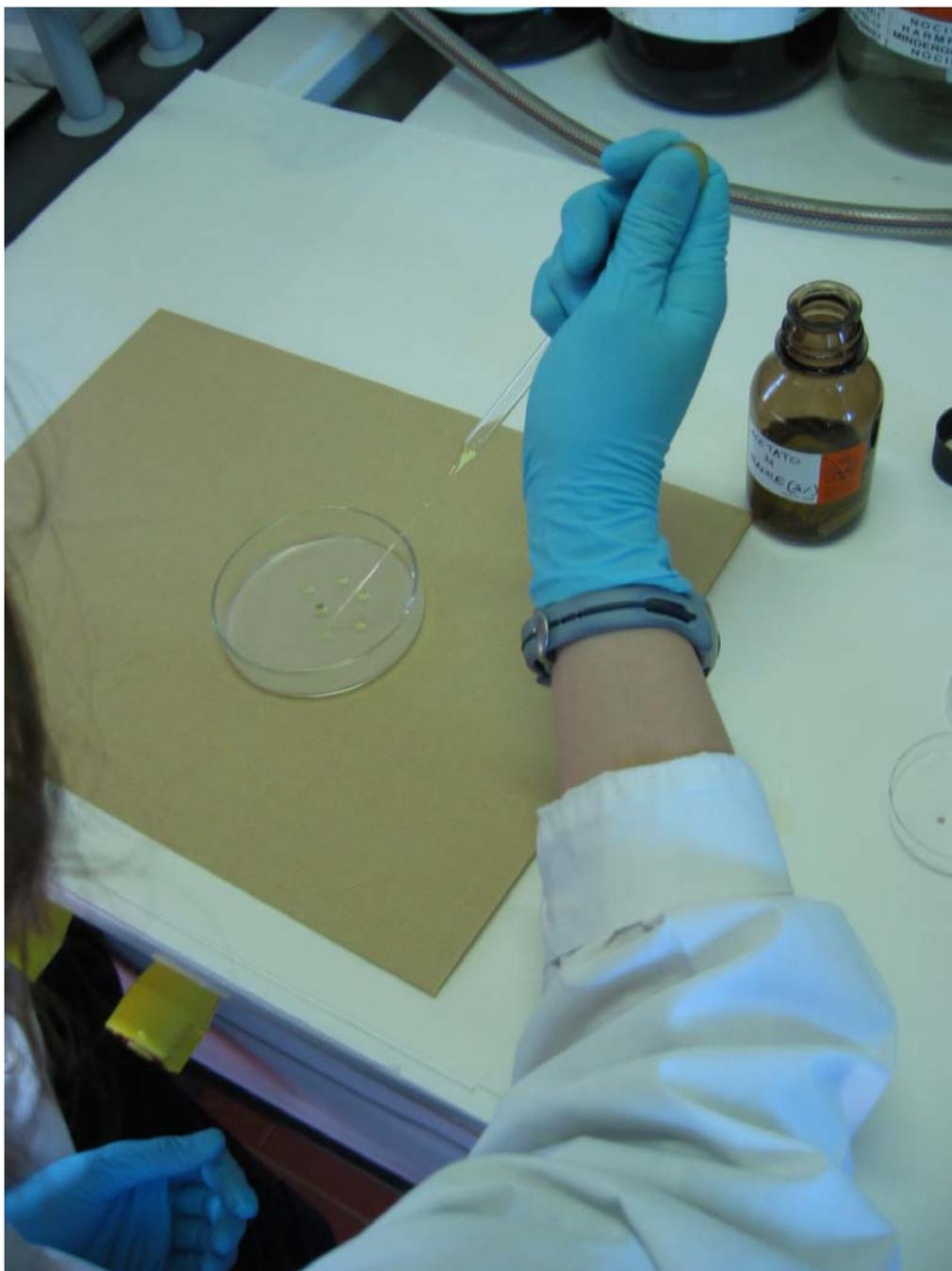


Figura 3: colorazione dei preparati con soluzione di acetato di uranile

Bibliografia

1. International Commission on Radiological Protection. *Radionuclide transformations - energy and intensity of emissions*. ICRP Publication 38, Annals of the ICRP Vols. 11-13, Pergamon Press, Oxford, 1983.
2. *The Health Physics and Radiological Health Handbook*. Edited by Bernard Shleien, Certified Health Physics, ABHP FAPHA, Publisher Scinta Inc. Silver Spring, USA.
3. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 74 th Ed. (1993-1994) CRC Press, Inc.
4. Norma UNI-EN 421, *Guanti di protezione contro le radiazioni ionizzanti e la contaminazione radioattiva*. (Codice ICS: 13.340.40), UNI, 1995.

5. *Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti* Decreto Legislativo 17 marzo 1995 n. 230, S.O. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 136 del 13/6/1995.
6. International Commission on Radiological Protection. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers - Replacement of ICRP Publication 54. ICRP Publication 78, Annals of the ICRP Vol. 27 No. 3-4, Pergamon Press, Oxford, 1998.

Elio Giroletti

Università degli Studi di Pavia

Dip. Fisica nucleare e teorica

Via Bassi 6 – 27100 Pavia

Tel. 0382-507905 – girolett@unipv.it