

# Uranio impoverito e linfomi di Hodgkin nei soldati italiani in Bosnia e Kosovo: una possibile associazione?

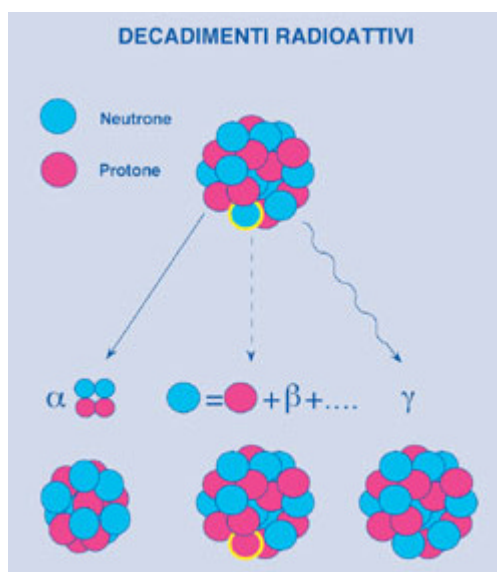
Martino Grandolfo<sup>1</sup>, Alfonso Mele<sup>2</sup>, Luigina Ferrigno<sup>2</sup>, Cristina Nuccetelli<sup>1</sup>, Serena Risica<sup>1</sup> e Maria Elena Tosti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio di Fisica, ISS

<sup>2</sup>Laboratorio di Epidemiologia e Biostatistica, ISS

“  
L'uranio è un elemento  
metallico presente  
nel suolo, nell'aria  
e nell'acqua  
”

L'uranio (U) è un elemento metallico a elevata densità, presente in piccole quantità nel suolo, nell'aria, nell'acqua e nel cibo. Nella sua forma naturale l'uranio è costituito da tre radioisotopi ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$ ), aventi tempi di dimezzamento fisici e percentuali in massa diversi fra loro e ben noti. I tre isotopi sono radioattivi e decadono spontaneamente emettendo radiazioni alfa, beta e gamma (Figura 1).



**Figura 1** - Le tre modalità (alfa, beta, gamma) di decadimento di un nucleo radioattivo (il cerchietto giallo indica il nucleone interessato al decadimento beta)

L'urto tra neutroni termici e atomi di uranio provoca il processo di fissione nell' $^{235}\text{U}$ , portando all'innesco di una reazione a catena che, in certe condizioni, è in grado di autosostenersi. Ciò porta agli ordigni nucleari se il processo non è controllato, o alla produzione d'energia in reattori di potenza (centrali nucleari) se la stessa reazione è, invece, tenuta sotto controllo.

Per essere utilizzato nei reattori nucleari è necessario, però, che l' $^{235}\text{U}$  sia presente con una percentuale in massa dell'ordine del 3-5%, un valore superiore a quello in cui è presente in natura. Per la realizzazione di elementi di combustibile nucleare l' $^{235}\text{U}$  viene, pertanto, concentrato attraverso un processo di diffusione gassosa. L'uranio che risulta come prodotto di scarto del processo di arricchimento dell'isotopo 235 è noto come uranio impoverito (o uranio depleto, dall'inglese *depleted uranium*,

DU) poiché la percentuale in massa dell'isotopo 235 è inferiore a quella con cui è presente in natura, cioè inferiore allo 0,72%. L'uranio impoverito presenta un'attività pari a 39 420 Bq/g ed è, quindi, meno radioattivo dell'uranio naturale, la cui attività è, invece, pari a 49 973 Bq/g. Esso emette principalmente particelle alfa e beta ed è una modesta sorgente d'irraggiamento esterno. Le particelle  $\alpha$  percorrono in aria pochi centimetri, mentre la radiazione  $\beta$  è schermata già dai vestiti. L'uranio impoverito, essendo a elevata densità, piroforico e relativamente poco costoso, è usato come penetratore di munizioni utilizzate per distruggere carri armati e mezzi blindati. Queste munizioni non contengono cariche esplosive, ma i proiettili d'uranio (Figura 2), lanciati a velocità elevatissime, sono in grado di penetrare la spessa corazza metallica di un carro armato e di distruggerlo.

“  
L'uranio impoverito  
è utilizzato come  
penetratore  
di munizioni utilizzate  
per distruggere  
mezzi blindati  
”



**Figura 2** - Proiettile a uranio impoverito utilizzato dalle forze NATO nei Balcani (Fonte: CISAM)

Si stima che durante la guerra del Golfo, nel 1991, siano state utilizzate circa 340 tonnellate di munizioni a uranio impoverito, mentre circa 2 e 10 tonnellate siano state, rispettivamente, utilizzate durante i bombardamenti in Bosnia, nel 1995, e in Kosovo, nel 1999. Successivamente al dispiegamento di forze militari italiane in Bosnia e Kosovo, furono portati a conoscenza delle autorità competenti e dell'opinione pubblica diversi casi di patologie tumorali fra soldati impegnati in missioni di pace in quelle aree. Poiché fu subito ipotizzata l'eventuale associazione fra queste patologie e le attività svolte in territori potenzialmente contaminati da uranio impoverito, nel dicembre del 2000 l'allora Ministro della Difesa costituì una Commissione d'inchiesta per valutare gli aspetti medici e scientifici delle patologie tumorali apparse fra i soldati italiani impiegati in missioni di pace in Bosnia e Kosovo. Compito della stessa Commissione era anche quello di verificare l'esistenza, o meno, di un'associazione fra queste patologie e l'utilizzo d'armi a uranio impoverito nei Balcani. La Commissione, presieduta da Franco Mandelli e costituita da Carissimo Biagini, Martino Grandolfo, Alfonso Mele, Giuseppe Onufrio, Vittorio Sabbatini e Antonio Tricarico, ha presentato la propria relazione finale nel giugno 2002. I ricercatori dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS) che, direttamente o indirettamente, hanno fornito il proprio contributo scientifico ai lavori della Commissione intendono presentare, in questa nota, una rassegna critica delle attuali conoscenze sugli effetti sanitari delle esposizioni all'uranio e i principali risultati epidemiologici ottenuti dalla Commissione stessa (1-3).

Inizio Pagina

“  
L'uranio, se inalato,  
ingerito o incorporato  
a causa di schegge di  
proiettili, dà luogo  
a contaminazione  
interna  
”

Un isotopo radioattivo, decadendo in un altro elemento anch'esso radioattivo o stabile, compie una disintegrazione ed emette radiazioni in grado di produrre, direttamente o indirettamente, la ionizzazione degli atomi e delle molecole del mezzo attraversato (radiazioni ionizzanti). Le particelle direttamente ionizzanti sono quelle che possiedono una carica elettrica (elettroni o radiazione beta, protoni, particelle alfa) e che ionizzano la materia attraverso processi di collisione. Le particelle indirettamente ionizzanti sono, invece, quelle che non possiedono carica elettrica (fotoni o radiazione gamma, neutroni) ma che, interagendo con la materia, possono mettere in moto particelle cariche o causare reazioni nucleari.

Sulla base dell'approfondita analisi effettuata, nel tempo, dall'International Commission on Radiological Protection (ICRP), gli effetti delle radiazioni ionizzanti si possono distinguere (4) in:

- *deterministici*: quando, sopra un certo livello di dose (detto soglia), la probabilità del danno a un organo o tessuto (aplasia midollare, opacità del cristallino, lesioni cutanee, sterilità) diventa 1 (100%). Per livelli di dose superiori al valore di soglia, la gravità clinica del danno aumenterà anch'essa in funzione della dose;
- *stocastici* (di natura statistica e casuale): quando, probabilmente senza una soglia, si manifesta una neoplasia maligna, con probabilità che di solito aumenta con l'aumentare della dose, in maniera approssimativamente proporzionale alla dose, almeno per valori di dose inferiori a quelli in grado di provocare effetti deterministici. La gravità clinica della neoplasia non è, invece, in rapporto con la dose. Qualora il danno si produca in una cellula germinale, gli effetti stocastici (di tipo e gravità diversi) sono detti ereditari, poiché sono espressi nella progenie dell'individuo irradiato.

La disciplina della protezione dalle radiazioni ionizzanti (radioprotezione) pone le sue fondamenta su:

- dati epidemiologici su grandi coorti di esposti. In particolare, gli studi svolti sui sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki, su individui esposti per ragioni mediche e, solo per il radon, su minatori di miniere uranifere;
- la sperimentazione su animali e su cellule.

In relazione agli effetti stocastici, con l'intento di valutare contemporaneamente sia la probabilità del verificarsi di un effetto sanitario dannoso, fra i tre presi in considerazione (tumori letali, tumori non letali ed effetti ereditari gravi), che la sua gravità, l'ICRP utilizza il termine di detrimento e definisce un coefficiente nominale di probabilità totale. Questo coefficiente, definito totale in quanto tiene conto di tutti e tre i tipi di effetti sanitari dannosi indicati in precedenza e il cui calcolo è essenzialmente basato sull'irraggiamento esterno, di radiazione prevalentemente  $\gamma$  e a corpo intero, secondo l'ICRP assume, nel caso della popolazione generale, il valore di  $7,3 \cdot 10^{-2}/\text{Sv}$ .

Inizio Pagina

“  
La popolazione  
studiata comprende  
militari che hanno  
partecipato a missioni  
in Kosovo e/o Bosnia  
”

## RISCHIO RADIOLOGICO

Se l'uranio è inalato, ingerito o incorporato (schegge di proiettili) dà luogo a una contaminazione interna. L'uranio è classificato, sia per valutarne gli effetti tossici che quelli radiologici, in funzione della solubilità dei composti che forma. Da questo punto di vista i composti sono suddivisi nelle seguenti tre classi:

- tipo F (*fast absorption*), per i quali il 100% dell'inalato raggiunge i

fluidi corporei, con un tempo di dimezzamento biologico,  $T_{1/2}$ , pari a 10 min;

- tipo M (*moderate absorption*), per i quali il 90% dell'inalato raggiunge i fluidi corporei con  $T_{1/2}$  pari a 140 giorni, mentre il restante 10% si comporta come il tipo F;
- tipo S (*slow absorption*), per i quali il 99,9% dell'inalato raggiunge i fluidi corporei con  $T_{1/2}$  pari a 7 000 giorni ( $\sim 20$  anni), mentre il restante 0,1% si comporta come il tipo F.

I composti di tipo F sono quelli che hanno un maggiore effetto tossico e gli organi più colpiti (organi bersaglio) sono i reni e il fegato. I composti di tipo S hanno invece un maggiore effetto radiologico; in questo caso gli organi bersaglio sono i polmoni e i linfonodi. A quest'ultimo tipo appartiene circa il 30% dei composti prodotti nell'incendio causato dall'impatto di proiettili all'uranio su superfici rigide. La dose efficace (a corpo intero) è una media pesata di dosi ai singoli organi o tessuti, con coefficienti di peso che rispecchiano l'incidenza dei diversi tumori tra le grandi coorti di esposti sopra indicate. Per i linfonodi il fattore di peso è  $1,2 \cdot 10^{-4}$ , per cui anche dosi elevate, dell'ordine del sievert, danno un contributo trascurabile alla dose efficace. In Tabella 1 sono mostrate le dosi efficaci, da inalazione d'uranio impoverito nelle sue diverse forme d'assorbimento, calcolate sulla base di quanto indicato nella Raccomandazione n. 71 dell'ICRP (5).

**Tabella 1** - Dosi da inalazione d'uranio impoverito  
(attività pari a 39 420 Bq/g)

<b>Assorbimento</b>	<b>Dose efficace impegnata (mSv per grammo di DU inalato)</b>
Veloce	7,5
Medio	44
Lento	120

Inizio Pagina

## **DATI EPIDEMIOLOGICI**

La popolazione studiata (3) è quella del personale delle Forze Armate che ha partecipato ad almeno una missione in Bosnia e/o Kosovo (Figura 3) nel periodo compreso fra dicembre 1995 e luglio 2001 (Carabinieri), agosto 2001 (Aeronautica e Marina) e novembre 2001 (Esercito).



**Figura 3** - Mappa delle zone d'intervento

Le informazioni sui casi di tumore sono state fornite all'ISS dalla Direzione Generale della Sanità Militare e, per ogni caso riportato, la diagnosi è stata confermata attraverso l'analisi delle cartelle cliniche fornite dai rispettivi centri di diagnosi e cura. Sono stati calcolati i tassi d'incidenza specifici, per classi quinquennali d'età, per le seguenti patologie: linfoma di Hodgkin (LH), linfoma non Hodgkin (LNH), leucemia linfatica acuta (LLA), tumori solidi e tutte le neoplasie (totale complessivo). Per ciascun tasso sono stati stimati gli intervalli di confidenza al 95% (IC 95%), vale a dire l'intervallo di valori entro i quali possono oscillare le stime dei tassi d'incidenza per effetto del caso.

I tassi d'incidenza della popolazione studiata sono stati confrontati, utilizzando la distribuzione di Poisson, con quelli delle popolazioni maschili incluse nei Registri Tumori (RT) italiani, che raccolgono dati d'incidenza in base a diagnosi confermate. Come indicatore per il confronto è stato utilizzato il rapporto tra i casi di tumore "osservati"\* nella popolazione dei militari che si sono recati in Bosnia e/o Kosovo e quelli "attesi"\*\*\*, in quella stessa popolazione, facendo riferimento ai tassi degli RT italiani: il rapporto tra casi "osservati" e casi "attesi" dà una misura di rischio denominata SIR (Standardized Incidence Ratio). Quando non c'è differenza tra casi osservati e attesi, tale rapporto è uguale a uno, mentre un valore maggiore di uno sta a indicare un numero di casi osservati maggiore di quello atteso e viceversa per un valore minore di uno. Anche per i SIR sono stati calcolati gli intervalli di confidenza. L'eccesso dei casi è statisticamente significativo solo quando il limite inferiore dell'intervallo di confidenza è superiore a uno. L'analisi è stata ristretta alle fasce d'età tra i 20 e i 59 anni, fasce che comunque comprendono il 99,2% dell'intero gruppo dei militari italiani andati in missione in Bosnia e/o Kosovo (non si sono registrati casi nelle fasce d'età escluse). Poiché le fasce d'età escluse hanno una bassa numerosità, anche il numero di casi attesi in queste fasce è zero, come quello dei casi osservati e, di conseguenza, il calcolo dei SIR non è stato influenzato in nessun modo da questa scelta. Il calcolo dei SIR è stato fatto sia considerando l'intero periodo d'osservazione, sia tenendo conto di un periodo di latenza tra esposizione e patologie osservate. Poiché in letteratura non sono riportati dati certi riguardo alle latenze, è stata ipotizzata una latenza minima di 12 mesi. Nel caso di quest'ultima ipotesi, sono stati esclusi dall'elaborazione tutti quei soggetti che avevano un periodo di osservazione inferiore a 12 mesi (sia dal numeratore, cioè i casi, sia dal denominatore) e, per ogni soggetto, sono stati tolti i primi 12 mesi di osservazione (in quel periodo,

in base all'ipotesi formulata, non sarebbero stati a rischio di sviluppare la patologia a causa dell'esposizione in studio). Complessivamente sono stati analizzati 43 058 militari, di cui 42 697 (99,2%) nella fascia d'età 20-59 anni; il tempo totale d'osservazione, in questa fascia, è stato di 115 037 anni-persona. La maggior parte della popolazione proveniva dall'Esercito (82,6%) e dall'Italia meridionale (65,6%). Circa il 62% dei soggetti ha compiuto la prima missione in Bosnia e/o Kosovo tra il 1999 e il 2001, il 12% nel 1998, l'11% nel 1997 e il 15% nel periodo 1995-96. In totale sono stati accertati quarantaquattro casi di tumore: 12 LH, 8 LNH, 2 LLA, 3 carcinomi della tiroide, 4 tumori al retto o al colon, 3 melanomi, 2 astrocitomi, 4 tumori del testicolo, 1 tumore alla faringe, 1 tumore alla laringe, 1 tumore polmonare, 1 tumore ai bronchi, 1 tumore renale e 1 tumore allo stomaco. In Tabella 2 sono riportati i tassi d'incidenza e i valori dei SIR per LH, LNH, LLA e per i tumori solidi.

“  
Le stime  
di rischio relative  
alla radioprotezione  
si basano sull'analisi  
dei sopravvissuti  
di Hiroshima  
”

**Tabella 2** - Valori dell'incidenza per 100 000 anni-persona e dei SIRa nei militari italiani (età comprese fra 20 e 59 anni) inviati in Bosnia e/o Kosovo

Patologia	Incidenza (IC <sup>b</sup> 95%)	Casi osservati	Casi attesi	SIR <sup>a</sup> (IC <sup>b</sup> 95%)
LH <sup>c</sup>	10,43 (5,39-18,23)	12	5,08	2,36 (1,22-4,13)
LNH <sup>d</sup>	6,95 (3,00-13,71)	8	8,53	0,94 (0,40-1,85)
LLA <sup>e</sup>	1,74 (0,21-6,28)	2	1,12	1,78 (0,21-6,44)
Tumori solidi	19,12 (11,98-28,96)	22	74,28	0,30 (0,19-0,45)
Tutte le neoplasie	38,25 (27,79-51,35)	44	91,94	0,48 (0,35-0,64)

(a) Standardized Incidence Ratio; (b) Intervallo di confidenza; (c) Linfoma di Hodgkin; (d) Linfoma non Hodgkin; (e) Leucemia Linfatica Acuta

Nel complesso, l'incidenza fra i militari è risultata significativamente inferiore a quella attesa sulla base dei dati deducibili dagli RT. Questo risultato può essere, in parte, dovuto al fatto che il personale delle Forze Armate è sottoposto, prima dell'arruolamento, a una serie di esami medici che porta alla selezione di un gruppo particolare di popolazione. Inoltre, va considerato che circa il 70% del personale militare impiegato in Bosnia e Kosovo proveniva dall'Italia meridionale, in cui l'incidenza complessiva di tumori è più bassa che nell'Italia settentrionale, da cui provengono i dati di sette RT sui nove utilizzati per l'analisi epidemiologica. Il numero di casi attesi, quindi, potrebbe essere stato sovrastimato. L'unico tipo di tumore per cui si è osservato un eccesso statisticamente significativo è il linfoma di Hodgkin, con una significatività che si mantiene indipendentemente da ipotesi sul tempo di latenza della malattia. Questo eccesso non può essere attribuito a differenze geografiche quali quelle menzionate in precedenza, perché l'incidenza di questo tipo di tumore non presenta significative differenze tra il Nord e il Sud dell'Italia. L'eccesso di LLA, invece, non è statisticamente significativo e può essere attribuibile al caso.

“  
A tutt'oggi  
non esiste un legame  
causale tra linfoma  
di Hodgkin  
ed esposizione  
interna a uranio  
impovertito  
”

Inizio Pagina

## STIMA DEL LIVELLO D'ESPOSIZIONE

In riferimento alle esposizioni a uranio impoverito dei militari italiani nei Balcani, l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (ANPA, oggi APAT, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) ha pubblicato un rapporto (6) in cui sono contenute le stime ottenute per i



possibili livelli d'esposizione utilizzando i coefficienti della Raccomandazione n. 71 dell'ICRP (5). Il rapporto presenta due tipi di valutazioni, relative a uno scenario critico e a uno realistico. Lo scenario critico, il cosiddetto caso peggiore, è quello relativo all'inalazione di polveri d'uranio prodotte nell'impatto di un penetratore su superfici di mezzi blindati, da parte di soggetti nelle immediate vicinanze dell'obiettivo colpito. L'ipotesi è quella del rilascio, durante un attacco, di 10 kg d'uranio impoverito, che interessa un'area di 1 000 m<sup>2</sup> e che dà luogo all'introduzione totale di 180 mg di polveri in un minuto. Queste ipotesi portano alla stima di una dose efficace di 22,6 mSv. Lo scenario realistico, ma pur sempre cautelativo, è in realtà quello relativo all'inalazione di particolato di uranio impoverito a seguito di risospensione in aria, in condizioni di polverosità elevata (concentrazione della polvere in aria di 5 mg/m<sup>3</sup>). Prendendo, ad esempio, quanto avvenuto sulla collina di Vranovac (2 300 dardi utilizzati contro una batteria contraerea), si può supporre la presenza di 250 kg d'uranio impoverito sotto forma di particolato fine inalabile. In questo scenario, ipotizzando un tempo di permanenza di un'ora e un rateo d'inalazione pari a 1,5 m<sup>3</sup>/h, la stima di dose efficace porta a un valore di 0,15 mSv. Per fornire alle valutazioni precedenti un'utile modalità di confronto, vale la pena ricordare che la vigente normativa di radioprotezione (DLvo 230/95 e DLvo 241/2000) limita a 1 mSv/anno la dose efficace per la popolazione, mentre per i lavoratori il limite di dose efficace è di 100 mSv in 5 anni, con un valore massimo di 50 mSv da non superare mai in un singolo anno. Si fa presente, comunque, che i valori di dose efficace utilizzati per il confronto sono, secondo la normativa, relativi a "pratiche" giustificate e autorizzate.

“  
Lo screening sui militari italiani e tedeschi operanti in Kosovo in aree bombardate con uranio impoverito ha dato esito negativo  
”

Inizio Pagina

## RADIAZIONI IONIZZANTI E LINFOMA DI HODGKIN

Dal punto di vista radiologico, l'uranio impoverito, come tutti gli elementi che emettono prevalentemente radiazioni debolmente penetranti quali, in particolare, le radiazioni alfa, deve essere studiato non tanto per quanto riguarda le eventuali esposizioni esterne, quanto per quelle interne, causate dall'inalazione, l'ingestione o l'incorporazione (a causa di ferite) di uranio impoverito. Diversi organismi autorevoli, nazionali e internazionali, si sono occupati dei problemi suscitati dall'uso dell'uranio impoverito e hanno pubblicato estesi rapporti (7, 8) affrontando gli aspetti più rilevanti, sia dal punto di vista radiologico che tossicologico. Sulla base del complesso delle informazioni raccolte, questi organismi sono giunti alla conclusione che, in rapporto alle attuali conoscenze sui fattori di rischio radiologico e sui possibili scenari d'esposizione, non sono prevedibili eccessi di tumori, né solidi né ematologici, che possano essere rivelabili rispetto all'incidenza naturale. Viene comunque sottolineata la carenza di conoscenze in questo settore e auspicato lo svolgimento di studi finalizzati all'approfondimento di diversi aspetti del problema. In particolare, per quanto riguarda l'eventuale legame causale tra la malattia di Hodgkin e l'esposizione interna, allo stato attuale delle conoscenze, è possibile fornire le seguenti informazioni. L'ampia rassegna (9) pubblicata nel 2000 dall'UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) che, per la sua indiscussa autorevolezza, costituisce un indubbio riferimento a livello internazionale, riporta, nel capitolo relativo al linfoma di Hodgkin, tre studi per l'esposizione interna all'isotopo dello iodio <sup>131</sup>I, radioisotopo che peraltro non emette particelle alfa e si concentra nella tiroide, al contrario dell'uranio; i tre studi non mostrano alcuna correlazione causale significativa (10-12). Altri due lavori (13,14) sono relativi a pazienti trattati con il *thorotrast*, una soluzione impiegata come mezzo di contrasto fino agli anni '50, e si basano sull'osservazione di pochi casi (uno nel lavoro danese e due in quello tedesco), mentre un terzo lavoro, che riguarda l'esposizione a gas

“  
I militari italiani che hanno operato nei Balcani dovranno essere seguiti per monitorare l'incidenza dei tumori  
”

radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) in miniera, non analizza il numero di casi riscontrati in relazione ai livelli di esposizione (15). Due studi analoghi sono riportati nel precedente Rapporto UNSCEAR, del 1994, e riguardano i lavoratori addetti alla lavorazione del minerale uranifero professionalmente esposti a polveri contenenti isotopi dell'uranio e del torio (16, 17). In un contesto nel quale l'incidenza dei tumori ai polmoni e alle ossa è risultata inferiore a quella attesa, si sono registrati, nei 20 anni del periodo di osservazione, alcuni casi in eccesso di altre patologie, tra cui anche tre casi di linfoma di Hodgkin. Importanti indicazioni epidemiologiche sono emerse da due studi di coorti di lavoratori di impianti di produzione e riprocessamento di combustibile nucleare (18, 19). In questi studi è stata analizzata la correlazione tra esposizione cumulata esterna (cioè non per inalazione, ingestione o incorporazione) e mortalità per cancro. In particolare, nel primo lavoro è stata considerata anche la correlazione tra esposizione esterna e morbilità. In entrambi gli studi viene riscontrata un'associazione statisticamente significativa tra linfomi di Hodgkin ed esposizione esterna (fondamentalmente radiazione  $\gamma$ ), considerando un tempo di latenza di 10 anni tra esposizione e insorgenza della malattia, ma si sostiene, in conclusione, l'inesistenza di una relazione di causalità, perché ciò sarebbe in contrasto con le risultanze delle analisi sui sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki e di altri studi (4, 9, 20). Come viene sottolineato da altri autori (21), questi studi non considerano però il ruolo dell'esposizione interna e di altri fattori di rischio (ad esempio, il fumo o l'esposizione a composti chimici). È ovvio che la ricostruzione di dati d'esposizione interna e di altri confondenti è estremamente complessa, dato l'uso di registri storici di tumori. Comunque, McGeoghegan e Binks (18) si ripromettono di intraprendere una rianalisi dei dati sulla base delle informazioni ottenibili sull'esposizione interna. Questi futuri risultati potranno forse contribuire a chiarire meglio il ruolo della contaminazione interna d'uranio nell'eziologia dei linfomi.

Infine, in diversi altri studi che hanno analizzato gruppi di casi (cluster) di insorgenza del linfoma di Hodgkin, non sono state dimostrate correlazioni significative tra la malattia e gli agenti presi in considerazione; sono state ipotizzate anche un'associazione con agenti infettivi non identificati o l'influenza di altri fattori casuali. Definito lo stato delle conoscenze emerse dagli studi epidemiologici, si ritiene utile richiamare alcune considerazioni a stretto profilo radioprotezionistico.

Dalle stime di rischio basate sull'analisi dei sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki, che a tutt'oggi costituiscono la base fondamentale di dati epidemiologici su cui la radioprotezione elabora le stime di rischio (4), non emerge una correlazione significativa tra esposizione e incidenza di linfomi (22). Bisogna però osservare che queste stime sono relative a un'esposizione esterna, uniforme, acuta e prevalentemente da radiazione gamma, mentre lo scenario di possibile esposizione che si prefigura, nel caso del contingente italiano in Kosovo e in Bosnia, è profondamente diverso. Infatti, si può presumere che, date le prevalenti emissioni dell'uranio impoverito (alfa e beta), in questo caso l'esposizione esterna sia di modestissima entità, mentre la modalità principale d'esposizione da considerare sia quella interna, cioè per inalazione e/o per ingestione. Non si può, quindi, escludere che i coefficienti di rischio, elaborati principalmente dai dati sui sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki, possano essere inadeguati per uno scenario d'esposizione così diverso, quale quello del contingente italiano. Inoltre, bisogna considerare che, particolarmente nel caso d'inalazione di ossidi insolubili dell'uranio, sono i polmoni a essere gli organi bersaglio, quindi soggetti a una più elevata esposizione, e che, da questi, una frazione non trascurabile dell'attività si concentra nei linfonodi del mediastino (23), prefigurando la possibilità dell'insorgenza di neoplasie nei tessuti linfatici. Alla luce di quanto esposto in precedenza, una correlazione causale tra la malattia di Hodgkin e l'esposizione interna, allo stato attuale delle conoscenze, non è stata dimostrata. D'altro canto, le conoscenze sul destino metabolico dell'uranio e gli studi citati, riferibili a tipi e modalità d'esposizione però diversi da quelli ipotizzati per i contingenti militari



presi in considerazione, autorizzano a riflettere su una possibile relazione di causalità tra l'esposizione all'uranio e l'eccesso di alcune patologie neoplastiche.

Inizio Pagina

## **CONTAMINAZIONE DA URANIO IMPOVERITO E MILITARI ITALIANI**

I rapporti delle due missioni UNEP (United Nations Environment Programme) in Kosovo e in Serbia e Montenegro (24, 25), cui hanno partecipato esperti di quattordici Paesi e, per l'Italia, un esperto dell'ANPA, concludono che non è stata rivelata una contaminazione significativa delle aree sottoposte a mitragliamento con dardi a uranio impoverito, eccetto che nelle immediate vicinanze dei punti di rinvenimento dei dardi stessi (Figura 4) dove, comunque, non è stata riscontrata contaminazione dell'aria, dell'acqua o delle piante.



**Figura 4** - Dardo a uranio impoverito inesplosa, potenziale causa di contaminazione ambientale (Fonte: CISAM)

Anche in tutte le altre misure effettuate in campioni di acqua e latte e in relazione a edifici e oggetti non è stata riscontrata alcuna contaminazione. L'UNEP valuta che l'eventuale ingestione di polveri contaminate, prelevate inavvertitamente, non presenti rischi radiologici significativi, mentre si è in presenza di un rischio chimico leggermente superiore ai livelli sanitari raccomandati a livello internazionale. Nell'ambito delle operazioni di pace condotte nell'area balcanica e in relazione alle prime ipotesi d'impiego, in tale area, di proiettili anticarro con penetratori all'uranio impoverito, il Centro Interforze Studi per le Applicazioni Militari (CISAM) ha svolto, nell'ottobre 1999, la prima di una serie di campagne di misure radiologiche (26, 27). L'insieme delle valutazioni fisiche, effettuate mediante misure radiologiche dirette e l'analisi radiometrica di matrici ambientali, ha portato il CISAM a considerare molto bassa la probabilità di verificare la presenza di uranio impoverito nelle urine escrete dal personale operante in area balcanica e, ancora più bassa, quella di rivelare l'uranio mediante esami con *Whole Body Counter*. Esami effettuati su 16 individui subito dopo il loro rientro dal Kosovo, selezionati tra quelli più esposti, sono risultati negativi, con valori inferiori al limite di sensibilità delle metodiche utilizzate, e statisticamente indistinguibili dagli esami effettuati su altri 16 militari, mai impiegati in area balcanica. Indipendentemente dalle considerazioni radioprotezionistiche per le quali, come si è detto, allo stato attuale delle conoscenze non è dimostrato un collegamento tra l'insorgenza di linfomi di Hodgkin e l'esposizione a

radiazioni ionizzanti, va rilevato come a tutt'oggi le analisi effettuate non abbiano evidenziato segni di un'eventuale esposizione dei militari italiani a composti dell'uranio impoverito. Anche lo screening effettuato sui militari tedeschi operanti in Kosovo nel corso del 2000, in aree oggetto di mitragliamenti con dardi a uranio impoverito, ha dato esito negativo (28), così come le analisi effettuate nel corso del 2001, presso i laboratori dell'ENEA (29), su un contingente italiano di 28 individui della Pubblica Sicurezza di stanza in Kosovo (19 uomini e 9 donne). La possibilità che militari italiani siano stati esposti a uranio impoverito comporta, necessariamente, alcune ipotesi sugli scenari di contaminazione. Fra queste, di particolare rilievo potrebbero essere:

- l'inalazione, resa possibile da un qualche meccanismo di risospensione di particolato prodotto nell'impatto di dardi a uranio impoverito;
- l'inalazione di particolato prodotto nelle esplosioni di munizionamenti, di cui eventualmente una parte all'uranio impoverito, avvenute nell'ambito di operazioni di bonifica.

Come già detto, le indagini effettuate durante le missioni organizzate dall'UNEP hanno escluso la possibilità di esposizioni croniche; anche le analisi del particolato in aria, svolte, tra molte altre analisi, dal CISAM in Kosovo, in zone a elevata polverosità e scelte tra quelle in cui era stato accertato l'impiego di dardi a uranio impoverito, non hanno peraltro riscontrato la presenza di contaminazione. D'altra parte, il particolato fine risultante dall'esplosione di dardi a uranio impoverito ricade al suolo, sulla base delle condizioni meteorologiche, al massimo in pochi giorni e, comunque, il clima dei Balcani è sufficientemente piovoso da rendere improbabili significativi fenomeni di risospensione del particolato. Non si può invece del tutto escludere la possibilità di esposizioni episodiche, dall'impatto radiologico comunque difficilmente valutabile.

[Inizio Pagina](#)

## CONCLUSIONI

Per le neoplasie maligne (ematologiche e non), considerate globalmente, è emerso un numero di casi inferiore a quello atteso. Tale risultato può essere dovuto, come già evidenziato, in parte alla selezione per idoneità fisica alla quale sono sottoposti i militari e in parte al fatto che gli attesi sono stati calcolati in base agli RT che provengono soprattutto dal Nord dell'Italia, dove l'incidenza dei tumori, nel complesso, è più elevata che nel Sud (da dove proviene la maggior parte dei militari impegnati in Bosnia e/o Kosovo). Esiste invece un eccesso, statisticamente significativo, di casi di linfoma di Hodgkin, per la cui incidenza non c'è evidenza, in Italia, di una variazione geografica rilevante tra le diverse aree. Sulla base delle conoscenze attuali, una correlazione causale tra la malattia di Hodgkin e l'esposizione interna non è stata dimostrata. Rimangono, però, dubbi sulla validità del modello radioprotezionistico esistente, quando applicato allo scenario dei Balcani. I dati rilevati e le informazioni attualmente disponibili non permettono, quindi, d'individuare le cause dell'eccesso di linfomi di Hodgkin evidenziato dall'analisi epidemiologica svolta. I risultati dell'indagine a campione effettuata sui militari italiani impiegati in Bosnia e Kosovo non hanno evidenziato la presenza di contaminazione da uranio impoverito. Questo risultato è in accordo con quanto rilevato a tutt'oggi dalle altre indagini svolte, sia su militari sia sull'ambiente, a livello nazionale e internazionale. In relazione alle precedenti considerazioni, la Commissione ha espresso (3) diverse raccomandazioni, tra cui: a) seguire, nel tempo, la coorte dei soggetti impegnati in Bosnia e/o Kosovo, per monitorare l'incidenza di

tumori solidi ed ematologici, e l'evoluzione del quadro epidemiologico finora emerso, nonché b) individuare le persone, militari e non, che per diversi motivi possano essere state esposte all'uranio impoverito per inserirle in un programma di controllo sanitario a lungo termine. La Commissione ha inoltre ritenuto doveroso sottolineare l'importanza di proporre, nelle opportune sedi internazionali, campagne di monitoraggio nei territori in cui siano stati utilizzati proiettili all'uranio impoverito, allo scopo di rivelare a tempi lunghi eventuali contaminazioni delle popolazioni civili residenti (30) e dell'ambiente (possibile presenza futura di questo inquinante nell'acqua e in genere nella catena alimentare). In effetti, i rischi per la popolazione residente possono venire, a medio e lungo termine, dalla contaminazione del suolo e delle falde acquifere. La prima può causare un'esposizione da inalazione per risospensione, mentre ambedue possono dar luogo a esposizione da ingestione (trasferimento d'uranio alla catena alimentare). Allo stato attuale delle conoscenze questo trasferimento sembra però essere modesto, una situazione molto diversa da quella verificatasi per i radioisotopi  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  a seguito dell'incidente di Chernobyl. Questa preoccupazione porta alla richiesta di proporre, nelle opportune sedi internazionali, ad esempio in sede UNEP, l'estensione delle indagini sull'eventuale diffusione nell'ambiente d'uranio impoverito anche alla Bosnia e, in particolare, all'area di Sarajevo. Ulteriore importante raccomandazione è quella di promuovere, a livello nazionale e internazionale, ricerche sugli effetti dell'esposizione a uranio impoverito e di svolgere ricerche approfondite sulle possibili altre cause di aumentata incidenza di linfomi.

---

\* Con il termine "osservati" si fa riferimento a tutti i casi segnalati, sia spontaneamente sia dal Ministero della Difesa e utilizzati nell'analisi.  
\*\* Per casi "attesi" si intende il numero di casi che si sarebbero osservati nella popolazione in studio se questa avesse avuto gli stessi tassi d'incidenza della popolazione di confronto. Questo valore si ottiene moltiplicando i tassi d'incidenza, specifici per età, della popolazione di riferimento (Registri Tumori), per la numerosità delle diverse fasce di età della popolazione presa in esame.

---

Inizio Pagina

## Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare il CISAM - Divisione Protezione Ambientale, per la gentile concessione alla pubblicazione di parte del materiale fotografico contenuto in questo articolo.

## Riferimenti bibliografici

1. Relazione preliminare della Commissione istituita dal Ministro della Difesa sull'incidenza di neoplasie maligne tra i militari impiegati in Bosnia e Kosovo, 19 marzo 2001 (la relazione è accessibile sul sito del Ministero della Difesa: [www.difesa.it](http://www.difesa.it)).
2. Seconda relazione della Commissione istituita dal Ministro della Difesa sull'incidenza di neoplasie maligne tra i militari impiegati in Bosnia e Kosovo, 28 maggio 2001 (la relazione è accessibile sul sito del Ministero della Difesa: [www.difesa.it](http://www.difesa.it)).
3. Relazione finale della Commissione istituita dal Ministro della Difesa sull'incidenza di neoplasie maligne tra i militari impiegati in Bosnia e Kosovo, 11 giugno 2002.
4. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 1991; 21: 1-201 (è disponibile una traduzione in italiano pubblicata dall'ENEA/DISP nel 1992).

5. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 71. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 Inhalation dose coefficients. Ann ICRP 1995; 25: 3-4.
6. ANPA. Utilizzo di armamenti ad uranio impoverito nel conflitto dei Balcani (Serbia-Kosovo). Rischi di radioprotezione. Stime preliminari. Rapporto tecnico, Roma, febbraio 2000.
7. WHO. Depleted Uranium - Sources, Exposures and Health effects, World Health Organization, Geneva, April 2001.
8. The Royal Society. The health hazards of depleted uranium munitions. Part I and II. The Royal Society, London, March 2002.
9. UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionising Radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York: United Nations; 2000.
10. Holm LE, Hall P, Wiklund K, et al. Cancer risk after iodine-131 therapy for hyperthyroidism. J Natl Cancer Inst 1991; 83 :1072-7.
11. Holm LE, Wiklund KE, Lundell GE, et al. Cancer risk in population examined with diagnostic doses of 131I. J Natl Cancer Inst 1989; 81: 302-6.
12. Ron E, Doody MM, Becker DV, et al. Cancer mortality following treatment for adult hyperthyroidism. J Am Med Assoc 1998; 280: 347-55.
13. Andersson M, Carstensen B, Storm HH. Mortality and cancer incidence after cerebral arteriography with or without Thorotrast. Radiat Res 1995; 142: 305-20.
14. Van Kaick GA, Dalheimer A, Hornik S, et al. The German Thorotrast study: recent results and assessment of risk. Radiat Res 1999; 152: S64-S71.
15. Darby SC, Whitley E, Howe GR, et al. Radon and cancers other than lung cancers in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies. J Natl Cancer Inst 1995; 87: 378-84.
16. Archer VE, Wagoner JK, Lundin FE. Cancer mortality among uranium mill workers. J Occup Med 1973; 15: 11-4.
17. Waxweiler RJ, Archer VE, Roscoe RJ, et al. Mortality patterns among a retrospective cohort of uranium mill workers. In: Epidemiology applied to health physics. CONF 830101; 1983. p. 428-35.
18. McGeoghegan G, Binks K. The mortality and cancer morbidity experience of workers at the Springfield uranium production facility, 1946-95. J Radiol Prot 2000; 20: 111-37.
19. Gilbert ES, Omohundro E, Buchanan JA, et al. Mortality of workers at the Hanford site:1945-1986. Health Phys 1993; 64(6): 577-90.
20. National Research Council. Committee on the biological effects of ionizing radiations. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR V. Washington DC: National Academic Press; 1990.
21. Cardis E, Richardson D. Health effects of radiation exposure at uranium processing facilities. J Radiol Prot 2000; 20: 95-7.
22. Preston D, Kusumi S, Tomonaga M, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. Radiat Res 1994; 137: 568-97.
23. National Research Council. Committee on the biological effects of ionizing radiations. Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters: BEIR IV. Washington DC: National Academic Press; 1988.
24. UNEP. Depleted uranium in Kosovo-Post-conflict environmental assessment. Technical report. United Nations environment programme. Geneva, March 2001.
25. UNEP. Depleted uranium in Serbia and Montenegro - Post-conflict environmental assessment in the Federal Republic of Yugoslavia. Technical report. United Nations environment programme. Geneva, April 2002.
26. Sabbatini V. Indagine ambientale sull'impiego del DU nell'area del contingente italiano in Kosovo. Scuola Interforze NBC. Atti del IX Seminario NBC. Rieti, maggio 2000.
27. Sabbatini V. Controlli e valutazioni di radioprotezione nelle aree dei contingenti italiani in Bosnia e Kosovo. Centro studi e ricerche di sanità e veterinaria. Atti del Workshop su "Uranio depleto e marcatori di

- predisposizione alle radiazioni ionizzanti". Roma, 1° giugno 2001.
28. Roth P, Werner E, Paretzke HG. Untersuchungen zur Uraniamscheidung im Urin. Ueberpruefung von Schutzmassnahmen beim Deutschen Heereskontingent KFOR. Forschungsbericht im Auftrag des Bundesministeriums der Verteidigung. GSF - Forschungszentrum fuer Umwelt und Gesundheit, Institut fuer Strahlenschutz Neuherberg. GSF-Bericht 3/01.
29. Battisti P, Bazzarri S, Calamosca M, et al. Urinary excretion of uranium for an Italian contingent in Kosovo: preliminary results. Expert Meeting on "Depleted Uranium in Kosovo: Radiation Protection, Public Health and Environmental Aspects". Bad Honnef (Germany) 19-22 June 2001.
30. Priest ND, Thirlwall M. Early results of studies on the levels of depleted uranium excreted by Balkan residents. Arch Oncol 2001; 9(4): 237-40.