

Rischi legati all'impiego bellico dell'uranio impoverito

Carlo Pona

ENEA CR Casaccia

Via Anguillarese 301 – 00060 S.Maria di Galeria (Roma)

pona@casaccia.enea.it

22 giugno 2000

L'origine di quello che stiamo scrivendo con questo lavoro sta nella prima grande guerra mediatica della storia: la Guerra del Golfo è stata certamente (almeno fino all'aggressione del 1999 contro la Repubblica Federale di Jugoslavia) coperta dai media più di ogni altra guerra del passato, seguita minuto per minuto, giustificata, e sulla quale (e intorno alla quale) più si è speso in termini di condizionamento della opinione pubblica. Eppure non si può non tenere conto di una premessa: Ronald Reagan durante il suo doppio mandato da presidente degli Stati Uniti d'America aveva solennemente promesso ai suoi cittadini che le guerre future non sarebbero più state combattute dagli USA con le "mani legate": le rivelazioni dei giornalisti presenti in Vietnam sulle atrocità di quel conflitto agevolarono la nascita, negli USA e nel mondo, di un vasto movimento pacifista che contribuì in modo determinante ad imporre la fine della guerra. Bush mise in pratica gli insegnamenti del suo predecessore e la tattica attuata durante la Guerra del Golfo fu quella di impedire la presenza di nessun giornalista sui campi di battaglia. Tutta l'informazione che dilagava 24 ore al giorno sui media di tutto il mondo occidentale provenivano di fatto esclusivamente dai vari comandi militari USA/NATO dislocati sulle portaerei nel Golfo Persico o in Kuwait. Il risultato è che nessuno è mai riuscito a sapere quello che è effettivamente successo e come sia stata condotta quella guerra. La censura mediatica oggi continua e, per quanto riguarda l'Iraq, per esempio, i media nascondono ancora e tacciono sulle conseguenze, per esempio di dieci anni di embargo e sui bombardamenti che continuano.

In questo contesto e in questa situazione anche l'accertamento dell'impiego di armi all'uranio impoverito è stata lunga e non priva di sorprese. Ecco la testimonianza del Prof. Siegward-Horst Gunther, presidente delle Croce Gialla Internazionale: "nel maggio del 1991, ho trovato sul campo di battaglia iracheno bossoli e proiettili della forma e grandezza di un sigaro, particolarmente pesanti e di colore simile al piombo. Successivamente vidi nel sud del paese, un po' fuori Bassora, alcuni bambini giocare con gli stessi proiettili. Un bambino del gruppo si era ammalato di leucemia ed era morto: questo fatto mi insospettì, feci raccogliere dei proiettili. A partire dalla fine del 1991 diagnosticai in Iraq una malattia fino ad allora sconosciuta che portava a disfunzioni ai reni e al fegato.... l'esame di uno di questi proiettili non ordinari mi causò molti problemi in Germania: era altamente tossico e radioattivo, anche i bossoli lo erano. Il proiettile fu sequestrato dalla polizia tedesca, rimosso con severissime misure di sicurezza e custodito. Io fui arrestato e maltrattato"¹.

Un rapporto completo sull'uranio impoverito² uscì solo qualche anno dopo la fine della Guerra del Golfo a cura dell'International Action Center diretto da Ramsey Clark e Sara Flounders. Forse per la prima volta con questo rapporto l'opinione pubblica poteva essere informata dell'utilizzo di armi all'uranio impoverito da parte dell'esercito statunitense in Iraq e sul territorio degli USA.

¹ Centro Culturale Italo-Arabo: *Uranio Impoverito: la scoria infinita*, Agosto 1999

² International Action Center: *Depleted Uranium, the Metal of Dishonor*. 1995. Ne esistono due versioni italiane.

Caratteristiche del DU

L'Uranio naturale è una miscela di tre isotopi: ^{238}U (99,275%), ^{235}U (0,720%), e ^{234}U (0,005%). Il metallo ha una delle maggiori densità riscontrate tra gli elementi (19.07 g/cm^3 a $25 \text{ }^\circ\text{C}$) e, al disotto del punto di fusione ($1132 \text{ }^\circ\text{C}$), è caratterizzato da tre modificazioni cristalline, e può formare vari composti intermetallici (es.: U_6Mn , U_6Ni , USn_3). Tutti gli isotopi dell'uranio sono radioattivi, e decadono emettendo una particella α in altri isotopi, ancora radioattivi: la catena di decadimento del ^{238}U è mostrata in figura 1. A causa della sua lunghissima vita media (4,468·miliardi di anni), il ^{238}U ha una attività molto bassa. Per utilizzarlo nei reattori nucleari, o nelle armi nucleari, è necessario aumentare la concentrazione degli isotopi fissili ^{235}U e ^{234}U . Il materiale che ne deriva è noto come *uranio arricchito*, e la concentrazione di ^{235}U varia fra il 2% ed il 90%. Il materiale di scarto di questo processo è noto invece come *uranio impoverito* (DU, depleted uranium), e contiene meno dello 0.72% di ^{235}U . Per le applicazioni civili e militari, viene utilizzato DU contenente lo 0.2% di ^{235}U (tabella 1). Il DU, con un'attività specifica di circa³ $14,8 \text{ kBq/g}$, è meno radioattivo dell'uranio naturale di circa il 40%, e di circa un ordine di grandezza meno dell'uranio arricchito.

Esistono però nel DU delle piccole tracce di ^{234}Th , ^{234}Pa , provenienti dal decadimento del ^{238}U , e ^{231}Th (proveniente dal decadimento del ^{235}U). Per questo motivo, l'attività specifica del DU, comprendente anche i prodotti di decadimento eventualmente presenti, è più alta di quella teorica, ed è calcolata a circa 39 kBq/g [4]. Non sono presenti ovviamente tracce di radio o di radon, in quanto occorrono migliaia di anni perché il ^{230}Th vada in equilibrio con il ^{234}U .

Secondo alcune fonti⁴, confermate dal Department of Energy degli USA, l'uranio impoverito usato a scopi militari proviene invece dal riprocessamento dell'uranio irradiato in reattore. In questo caso sarebbero presenti in traccia anche elementi transuranici di estrema pericolosità e preoccupazione che vanno ben oltre quelli elencati finora, tra i quali il ^{239}Pu .

L'Uranio nell'ambiente.

Il DU possiede delle uniche proprietà fisiche quali la densità elevata (19.1 g/cm^3 , 1.7 volte maggiore della densità del piombo) ed una notevole duttilità. Inoltre, l'uranio è piroforico, e quindi delle piccole particelle prendono spontaneamente fuoco in aria. A causa di queste proprietà fisiche, oltre che come contrappeso in aeromobili, viene utilizzato comunemente per applicazioni in medicina (schermi per le radiazioni), mineralogia (apparecchiature per le scavatrici nei pozzi petroliferi), ed applicazioni militari (corazze e proiettili).

La concentrazione naturale di Uranio nelle rocce argillose arriva fino a 5 kBq/kg con un rapporto tra i due isotopi di 0.0072. Nel suolo, invece, varia fra 5 e 125 Bq/kg ($0,4 - 10 \text{ mg/kg}$) di ^{238}U e tra 0,2 e 5 Bq/kg di ^{235}U (5 kBq/kg nelle rocce argillose), caratteristica questa che rende la ricerca di DU nell'ambiente particolarmente problematica. Questa caratteristica è probabilmente quella che consente agli utilizzatori di "farla franca" nei riguardi della ricerca di contaminazione da DU nei suoli. Infatti nei suoli già correntemente analizzati a fini di monitoraggio, il rapporto tra i due isotopi dell'uranio non è quasi mai quello che si riscontra nelle rocce, ma più alto per diversi fattori, compresa una diversa mobilità. L'aggiunta di DU in un suolo nel quale non si conosca il rapporto precedente, non fa altro che portare nuove difficoltà: si può dire che la certezza che un sito sia stato effettivamente bombardato con DU si ha solamente con il ritrovamento di bossoli o pezzi di proiettile, anche perché i normali

³ Il Becquerel (Bq) è l'unità di misura dell'Attività, grandezza fisica che esprime la radioattività di una sostanza. Un Becquerel rappresenta un decadimento nucleare ogni secondo. Il prefisso k indica 1000.

⁴ Military Toxic Project: <http://www.mitoxproj.org/DU/DOE.pdf>. Si tratta della risposta di David Michaels del Dip. Dell'Energia del governo USA del 20 gennaio 2000 a Tara Thornton, del MTP.

contatori Geiger non sono in grado di accorgersi della presenza di DU. Si deve considerare poi che l'area direttamente interessata al bombardamento sulla quale è possibile ritrovare i bossoli è limitata a poche centinaia di metri quadrati.

I valori di concentrazione, naturali, nelle acque riportati dalla UNSCEAR⁵ sono i seguenti: per le acque superficiali: tra 1 e 90 mBq/l (0,1–8 µg/l); per le acque sotterranee tra 1e 500 mBq/l (0,05–40 µg/l) e per l'acqua di mare circa 40,5 mBq/l (3,3 µg/l)

Sempre l'UNSCEAR, nella stessa fonte citata, stima una concentrazione media di uranio in aria di 1 µBq/m³ (60 pg/m³), con valori compresi fra 20 pg/m³ e 76 pg/m³. I valori raccomandati dalla National Institute for Occupational Safety⁶ (USA) sono di 200 µg/m³ per uranio insolubile e 5 µg/m³ per uranio solubile nel caso di esposizione cronica professionale, ed un limite di 600 µg/m³ per esposizione acuta.

I rischi

L'esposizione alla popolazione che deriva dall'uranio naturale può essere riassunta in questo modo. Per inalazione, sulla base delle concentrazioni in aria, la quantità di uranio inalata, assumendo 20 m³ di aria inalata al giorno, varia fra 0,4 e 1,5 ng al giorno, cui va sommato per i fumatori circa 0,6 ng di uranio per ogni sigaretta. Per ingestione la quantità di uranio ingerita con l'acqua varia fra 0,8 e 2,1 µg al giorno, cui si devono aggiungere 1,5–3 µg contenuti nei cibi. La dose massima raccomandata di uranio ingerito per giorno⁷ è di 600 ng/kg.

Oltre alla tossicità chimica, molto importante soprattutto per i composti più solubili, è necessario stimare il rischio radiologico legato alla inalazione/ingestione di uranio. Per quanto riguarda l'irradiazione esterna, il valore suggerito della dose giornaliera alla pelle per esposizione a contatto è di 1,4 µSv/g di DU.

Per quanto riguarda la dose interna, si devono separare i casi inalazione e di ingestione⁸. I valori di dose effettiva annuale per i composti insolubili (il caso più pericoloso dal punto di vista radiologico) sono di 0,12 mSv/mg per inalazione e 0,67 µSv/mg per ingestione⁹. Questo significa che l'uranio naturale contribuisce al fondo di radiazione naturale con circa 20 µSv/anno per esposizione esterna. La dose per inalazione del solo ²³⁸U è di circa 5 nSv/anno, da confrontare con una media di 2 mSv/anno dovuta all'inalazione del radon naturale. Quella per ingestione del solo ²³⁸U è di 1,2 µSv/anno, contro una dose complessiva per ingestione annua di 160 µSv dovuta a tutti i nuclidi della catena di decadimento dell'uranio.

La dose massima ammissibile per la popolazione è fissata ad 1 mSv/anno. Tale dose corrisponde a 8.3 mg di uranio inalato e circa 1.5 g di uranio ingerito (integrato in un anno). Per avere un raffronto con le esposizioni alle radiazioni per cause naturali, si veda la tabella 3.

5 UNSCEAR: *Exposures from natural radiation sources*. 48th UNSCEAR session, Vienna, 1999

6 NIOSH: *Pocket Guide to Chemical Hazards*. US Dept. of Health and Human Services, 1994

7 WHO: *Guidelines for Drinking Water Quality*. WHO, Ginevra, 1998

8 EURATOM: *Basic Safety Standards for the Protection of Workers and the General Public Against the Dangers Arising from Ionizing Radiation*. Off.J.Eur.Comm., 29 (1996), L159

9 ICRP: *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 30, Part. I, supplement. Pergamon Press, Oxford, 1979

Metabolismo dell'uranio

Il DU è classificato nella fascia più bassa di rischio fra gli isotopi radioattivi. I rischi legati all'utilizzo di DU sono però anche di tipo chimico^{10,11}. Come tutti i metalli pesanti, l'uranio è tossico, e gli organi maggiormente interessati sono i reni. I potenziali effetti nocivi, sia tossici che radioattivi, del DU sono legati alla sua incorporazione all'interno dell'organismo, che può avvenire generalmente in 2 modi: per ingestione o per inalazione. L'ingestione o inalazione è resa possibile dalla ossidazione dell'uranio metallico, che genera composti volatili diossido (UO₂), triossido (UO₃) e principalmente ottaossido (U₃O₈) di uranio.

L'uranio ingerito o inalato può essere solubilizzato dall'organismo e depositarsi in diversi organi: si osserva come esso sia normalmente distribuito in tutti i tessuti, sia pure a livelli sensibilmente diversificati. La quantità totale di uranio riscontrabile in un soggetto normale è sempre inferiore ai 100 µg.

L'uranio inalato, soprattutto le particelle di dimensioni inferiori a 10 µm), si depositano nei bronchi, ed in particolare negli alveoli. L'80% dell'uranio depositato viene però rimosso dai meccanismi mucociliari dei bronchi, e quindi ingoiato, passando nel tratto gastrointestinale, da dove viene rapidamente escreto. Una frazione pari a qualche punto percentuale dell'uranio inalato finisce nel sistema sanguigno, entrandovi dai polmoni, dai linfonodi, o dall'intestino. Per quanto riguarda l'uranio ingerito (per esempio, per deglutizione degli aerosol), una frazione compresa fra 0 e 2.5% viene assorbita dall'intestino, mentre il rimanente viene escreto.

Complessivamente, circa il 90% dell'uranio in forma solubile, inalato o ingerito, viene escreto con le urine nel giro di 3 giorni. In tempo di dimezzamento effettivo, ovvero il tempo necessario affinché la metà della quantità di radionuclide venga eliminato dall'organo, è quindi completamente dominato dal tempo di dimezzamento biologico, ed è dell'ordine di un giorno. A causa di questa efficiente eliminazione, l'analisi della concentrazione di uranio nelle urine costituisce una misura sensibile dell'esposizione al metallo. In condizioni normali, ogni individuo elimina dai 50 ai 500 ng di uranio al giorno con le urine.

Nel caso di ossidi con DU, che è il caso che interessa più da vicino, recenti misure mostrano che il tempo di dimezzamento biologico è più lungo di quanto stimato in precedenza, con tempi di dimezzamento compresi fra 1 e 6 settimane a seconda della quantità di materiale inalato e del metabolismo del soggetto¹².

L'uranio che non viene escreto si distribuisce in tutti gli altri organi, principalmente nelle ossa, nei reni, nel fegato, nei polmoni, nel grasso e nei muscoli.

Tossicologia chimica e radiologica dell'uranio

I metalli pesanti presentano una notevole affinità chimica per le molecole biologiche contenenti gruppi fosfati (per esempio, fosfolipidi e acidi nucleici) o sulfidrilici (come la cisteina, il glutatione, gli ossianioni e molte proteine). Per questo motivo, i metalli pesanti non si trovano negli organismi nello

10 H.H. Harley et Al.: *Depleted Uranium. A Review of the Scientific Literature as it Pertains to Gulf War Illness*. National Defense Research Institute, RAND report, vol.7, 1999

11 M. Durante: *Uranio Impoverito nelle armi utilizzate nella guerra del Kosovo: esiste un rischio di contaminazione radioattiva?*. Boll. SIRR, 2 (1999) 6.

12 D.C. Barg e H.L. Grewing: *Inhalation Class for Depleted Uranium at a Major Uranium Applications Facility*. Health Physics, 70 (1996) 85a

stato di ione libero, ma sempre legati alle biomolecole. Nel caso dell'uranio, i composti più importanti sono gli ossianioni carbonati: quasi la metà dell'uranio nel sangue si trova nella forma di carbonato, stabile a pH neutro. Si decompone rapidamente, invece, a pH acido, per cui nelle urine si ritrova lo ione uranile.

Il principale organo interessato per la tossicità dell'uranio è il rene, dove a livello dei tubuli prossimali, i composti carbonati vengono degradati. La dose massima ammissibile raccomandata è di 3 µg di uranio per g di rene, che corrisponde a dosi soglia di inalazione di 8 mg per effetti transienti sul rene, e 40 mg per danni permanenti.

Benché debolmente radioattivo, il DU pone anche dei rischi radiologici. Gli effetti delle radiazioni si dividono in acuti e stocastici. Poiché gli effetti acuti si osservano per dosi dell'ordine di 1 Sv a corpo intero, nel caso del DU e per le applicazioni che ci interessano qui, tali effetti possono essere esclusi, in quanto corrisponderebbero a dosi di uranio inalato o ingerito elevatissime (circa 10 e 1500 g, rispettivamente), in grado di produrre effetti molto gravi e immediati per la tossicità chimica. L'unico effetto stocastico provato della esposizione alle radiazioni è l'induzione di cancro. L'ICRP assume che il rischio di cancro per esposizione alle radiazioni non abbia soglia, ed assume un coefficiente di rischio di 0,05 Sv⁻¹, cioè l'insorgenza di un caso letale di cancro ogni 100 Sv somministrati a un gruppo di popolazione, in cui i singoli individui non abbiano ricevuto ognuno dosi tali da provocare effetti acuti. Per fare un esempio: la somministrazione a 1000 persone di 0,1 Sv avrà, mediamente, l'effetto di provocare un caso letale di cancro in una di loro, a caso.

Ecco alcuni valori di riferimento che possono servire per fare valutazioni veloci della dose assorbita in alcuni casi pratici:

Dose per irradiazione esterna alla pelle: 58 µSv/h per kg di DU;

Dose annua per inalazione: 0.12 mSv/mg DU;

Dose annua per ingestione: 0.67 µSv/mg DU;

Il limite annuale per la popolazione nel suo insieme (1 mSv/anno) corrisponde a una inalazione di 8,3 mg oppure alla ingestione di 1,5 g di DU.

Armamenti contenenti DU

Per le sue peculiari caratteristiche fisiche, in particolare la densità che lo rende estremamente penetrante, ma anche il basso costo (il DU costa alla produzione circa 2\$ al kg) e il fatto che, trattato come rifiuto radioattivo porterebbe una serie di ulteriori problemi non trascurabili, il DU ha trovato eccellenti modalità di utilizzo in campo militare. La caratteristica di comportarsi anche da arma incendiaria, ne aumenta l'efficacia in campo militare come API (Armour Piercing Incendiary, cioè penetratore di armature incendiario). In tabella 2 sono elencati i principali sistemi di arma che utilizzano DU come penetratore oppure come zavorra per stabilità. Nella figura 2, invece, sono rappresentati i principali penetratori con le caratteristiche. Interessante vedere la produzione che hanno avuto questo tipo di proiettile dal 1976¹³ in poi. Come si vede dalla tabella, tra i tipi di arma utilizzati è presente anche il missile Cruise Tomahawk III, il cui utilizzo durante l'aggressione alla Repubblica Federale di Jugoslavia della primavera 1999, pur non ammesso dalla NATO è stato confermato da ritrovamenti in loco e da fonti della Unione Europea¹⁴.

13 Dal sito web della Alliant Techsystem Inc., uno dei produttori di armi al DU. <http://www.atk.com/homepage/products/>

14 Satu Hassi, Ministro dell'Ambiente Finlandese, ha inviato una lettera ai suoi pari grado nella UE, comunicando che la maggior parte dei 1500 missili sparati sulla Serbia, compreso il Kosovo, contenevano circa 3 kg di DU ognuno. Tra le altre cose, il ministro, nella lettera, fa un appello alla Commissione europea e ai suoi colleghi ministri dell'ambiente a prendere iniziative in favore del bando del DU.

L'impiego in campo di battaglia del DU non è nuovo: sicuramente è stato impiegato nella Guerra del Golfo del 1991 dove sono stati sparati un numero tra 14.000 e 940.000 API e di 223 missili Tomahawk fra Kuwait e Iraq per un totale di max 300 t, anche se altre fonti parlano addirittura di una quantità doppia fino a oltre 700 tonnellate. Altrettanto sicuro è stato il suo impiego durante i bombardamenti NATO/ONU sulla Repubblica Serpska di Bosnia nel settembre 1995, per il quale però non si hanno dati certi sulle quantità effettivamente utilizzate.

Armi al DU in Kosovo e Serbia, 1999

Fonte NATO

Il 3 febbraio 2000 molti giornali italiani riportano la notizia che la NATO, dopo energiche pressioni da parte dell'opinione pubblica e dei governi, ha deciso di divulgare e consegnare all'ONU la mappa precisa dei luoghi colpiti con DU¹⁵. Le zone colpite sarebbero quella di Pec, sul confine tra Kosovo e Montenegro, sotto il controllo dei militari italiani e tedeschi, e quella di Pristina, al confine con la Macedonia, controllata da britannici e statunitensi. La figura 3 mostra le aree interessate.

Nell'articolo citato si riporta una conferenza stampa del dr. Roberto Conforti, della Divisione Armamenti terrestri della Difesa, che ha ammesso i rischi connessi con la tossicità chimico-fisica del DU, soprattutto per le polveri. Nella stessa conferenza stampa è stata consegnata parte del manuale che la NATO ha distribuito ai propri soldati. Ai soldati italiani la documentazione è stata consegnata solo a novembre, dopo 5 mesi di presenza sui luoghi dove fino a poche settimane prima era stato impiegato il DU.

Il manuale, pur cercando di evitare allarmismi, contiene dati e notizie certamente non di poco conto. Qualche giorno dopo, il 7 febbraio 2000, il segretario generale della NATO, Robertson, invia una lettera a Kofi Annan in cui finalmente si conosce che la quantità di proiettili contenenti DU sparati sul Kosovo ammonta a 31.000¹⁶, pari a circa 10 tonnellate di DU. Nella lettera si parla dell'uso di tali armi tutte le volte che gli aerei A-10 hanno operato, e cioè in oltre 100 missioni. Peccato che in due occasioni sono stati pubblicate dichiarazioni di esponenti della NATO che ammettono di aver perso il conto dell'uranio sparato sul Kosovo: il 22 novembre su *The Independent*¹⁷, e il 22 marzo 2000 sulla BBC¹⁸.

Fonte RFJ

La Repubblica Federale di Jugoslavia, per via del suo Ministero per lo Sviluppo, la Scienza e l'Ambiente, ha pubblicato recentemente un rapporto¹⁹ circostanziato sulle conseguenze ambientali dei bombardamenti della NATO. Nel rapporto un capitolo è dedicato all'uranio impoverito. Nel rapporto per la prima volta la RFJ denuncia la NATO di aver usato DU anche all'esterno del Kosovo. Le località colpite dai bombardamenti sono un centinaio all'interno del Kosovo, tra le quali in modo particolare Prizren, Urosevac, Djakovica, Decani e Djurakovac. Come visto precedentemente, il numero complessivo delle località corrisponde a quello dichiarato dalla NATO, mentre dalla mappa fornita dalla NATO, non risulterebbero colpite Prizren e Urosevac. La stima del carico di DU depositato è di 50.000 proiettili, pari a circa 15 tonnellate, più alto di quella NATO.

Al di fuori del Kosovo, vengono indicate 8 località, tra cui una in Montenegro (la penisola di Lostica) e altre tra cui compaiono Cacak, Uzice, Nis e Kraljevo. La stima della quantità di DU utilizzata al di fuori del Kosovo, viene data in 3.000/5.000 proiettili, pari a circa 1/1,5 tonnellate.

15 Antonio Maria Mira, *Avvenire: Ecco dove la NATO usò uranio*, 3 febbraio 2000

16 A. Mastrandrea, R. Zanini: *Kosovo/Italia. Robertson (NATO): 31.000 Ordigni all'uranio impoverito su Serbia e Montenegro*. Il Manifesto, 9 marzo 2000.

17 Robert Fisk, Pristina: *US "Lost Count of Uranium Shells Fired in Kosovo"*. The Independent 22 novembre 1999

18 BBC World Service: *NATO Blames nations for Toxin*. 22 marzo 2000.

<http://news6.thdo.bbc.co.uk/hi/english/world/europe/newsid%5F687000/687445.stm>

19 Izvestaj SRJ: *Posledice: NATO Bombardovanja za Zivotnu Sredinu SR Jugoslavje*. Aprile 2000.

La contaminazione del suolo è stata confermata da misure di spettrometria gamma eseguite presso l'Istituto di Scienze Nucleari di Vinca, vicino Belgrado, e i dati forniti riferiscono di campioni di suolo con concentrazione di DU fino a 235 kBq/kg. Le aree colpite sarebbero già state localizzate tutte e recintate per impedirne l'accesso in attesa della decontaminazione, che consisterebbe nella rimozione dello strato superficiale del terreno e lo smaltimento in discarica controllata.

Non vengono menzionati i missili Tomahawk, che invece secondo altre fonti e informazioni dirette sarebbero stati utilizzati anche nelle vicinanze delle città di Belgrado (aeroporto militare di Rakovica) e Novi Sad.

Impatto radiologico

Nel corso di questo anno sono stati condotti e pubblicati diversi studi e analisi per l'impatto radiologico dell'uso dei proiettili all'uranio impoverito nell'aggressione della NATO contro la Repubblica Federale di Jugoslavia.

Uno dei primi è stato senz'altro il lavoro di Th.E. Liolos della Università di Salonicco²⁰. Nel lavoro, oltre a fare una review dei principali sistemi d'arma che impiegano DU viene presentato uno scenario del suo impiego utilizzando il modello HOTSPOT che include il calcolo della dose cumulativa a 50 anni a diverse distanze dal luogo dell'impatto.

Un altro interessante e completo lavoro pubblicato durante i bombardamenti è sicuramente quello di Marco Durante²¹. In questo lavoro interessante è la valutazione della dose somministrata alle cellule circostanti da un frammento di DU incorporato di 100 μ . Il volume irraggiato dal frammento sarebbe di qualche millesimo di mm³, pari a circa 2000 cellule. Ognuna di queste cellule riceverebbe in un giorno una dose pari a 0,2 Sv, un decimo della dose terapeutica che si somministra per la cura dei tumori, anche se in volumi certamente più grandi. La considerazione che la dose proviene solamente dallo strato più superficiale del frammento di 1 μ , ci porta a ritenere che un contributo dello stesso ordine di grandezza sarebbe fornito da un frammento molto più piccolo. Per poter valutare la probabilità di sviluppare un caso di tumore letale, bisognerebbe conoscere la frazione di cellule colpite da una dose così elevata che siano in grado di riprodursi portandosi dietro una mutazione maligna.

Anche nel libro che raccoglie gli atti del primo convegno degli Scienziati e Scienziate contro la Guerra, compare un contributo²² al problema del DU. Quel contributo conteneva dati molto preliminari con i quali è stata fatta una stima grossolana della mortalità da tumori indotti da DU.

In questo nuovo contributo si cerca di dare una valutazione dosimetrica più attendibile utilizzando un codice di calcolo sviluppato per lo scopo ai Laboratori Nazionali di Argonne²³ negli Stati Uniti..

20 Th.E.Liolios: *Assessing the Risk from the Depleted Uranium Weapons Used in Operation Allied Force*. Physics Abstract. Physics 9904061, 28 Aprile 1999. <http://xxx.sissa.it/abs/physics/9904061>

21 Marco Durante: *Uranio Impoverito nelle armi utilizzate nella guerra del Kosovo: esiste un rischio di contaminazione radioattiva?*. Università Federico II, Napoli. <http://yugowar.na.infn.it/nostridocumenti/durante.html>

22 Nicola Pacilio, Carlo Pona: *Uranio Impoverito*. Da *Imbrogli di Guerra*, Odradek 1999

23 RESRAD. Codice di calcolo elaborato dal Dip. dell'Energia (DOE) degli USA in accordo con le linee guida per il trattamento dei materiali residui radioattivi. Sviluppato alla Environmental Assessment Division dell'Argonne National Laboratory. La metodologia impiegata è descritta in: *Manual for Implementing Residual Radioactive Material Guidelines*. Supplemento delle *US-DOE Guidelines for Residual Radioactive Material*.

Per il calcolo degli scenari di esposizione e contaminazione al DU si sono fatte le seguenti ipotesi: in ogni attacco sono stati impiegati 10 kg di proiettili al DU, e che tutti i 10 kg siano stati trasformati in aerosol e polveri, distribuiti uniformemente su una superficie di 1000 m². La superficie non è detto che sia circolare e isotropa rispetto al punto dell'impatto, ma questo non modifica il valore numerico della stima.

Con queste premesse sono state calcolate le dosi ad individui adulti, sia in prossimità di un bersaglio al momento dell'attacco, sia in seguito per la deposizione al suolo, la risospensione della polvere contenente DU e attraverso la catena alimentare. Secondo i dati ufficiali forniti dalla NATO, quindi, uno scenario di questo tipo si sarebbe potuto verificare circa 1.000/1.500 volte nel corso dell'aggressione. Secondo le fonti jugoslave, circa il doppio.

I vari casi studiati e che sono riportati nelle tabelle 4, 5, 6, 7 e 8 e sono:

1. inalazione istantanea di aerosol di uranio durante l'attacco, dove si possono presumere anche rischi di tipo chimico-tossicologico;
2. inalazione per risospensione, a causa di una presenza prolungata sul sito;
3. ingestione di vegetali subito dopo l'attacco;
4. esposizione esterna da terreno contaminato;
5. contaminazione da dieta alimentare per ingestione di cibi contenenti DU.

Per riferimento, in tabella 3, vengono riportate le varie fonti naturali di esposizione radiologica e una stima del loro valore, con la variabilità.

Come si vede dalla tabella 4, l'esposizione esterna dal suolo contaminato fornisce una dose al singolo individuo dell'ordine di grandezza del fondo naturale e ovviamente decrescente con la migrazione del DU verso gli strati profondi, e quindi nel corso degli anni. Come ripeteremo in seguito per gli altri scenari, il problema più importante da valutare non riteniamo sia quello della dose ai singoli, ma quella alla popolazione nel suo complesso. I dati riportati nelle tabelle andrebbero moltiplicati per il numero di persone esposte per avere una stima della dose collettiva. Tenendo conto delle stime della International Commission for Radiological Protection²⁴ (ICRP), possiamo stimare l'incidenza di nuovi tumori maligni al rateo di 1 ogni²⁵ 50 man-Sv. Se, per esempio, tutto il Kosovo fosse contaminato superficialmente come il suolo preso in considerazione per questo scenario, si avrebbe una dose collettiva, solo dal suolo per esposizione diretta, di $1,450 \cdot 10^{-3} \text{ Sv/a} \times 1,5 \cdot 10^6 \text{ abitanti} = 2,175 \cdot 10^3 \text{ man-Sv}$, cioè 43 casi di tumore letali aggiuntivi sulla intera popolazione del Kosovo ogni anno, solo per esposizione esterna.

Per quanto riguarda l'inalazione diretta, ovviamente le cose stanno molto peggio. La presenza di una persona sul luogo durante il bombardamento è particolarmente grave: in questo caso, vedi tabella 5, un solo minuto di permanenza avrebbe come conseguenza la quasi certa morte immediata per effetto della intossicazione chimica del sangue. Infatti la quantità di DU inalata sarebbe doppia rispetto a quella letale. Anche la dose da radiazioni non è bassa: 22,6 mSv, molto superiore ai limiti annuali per la popolazione nel suo complesso. In questo caso si avrebbe un caso di tumore maligno ogni 2.200 persone esposte, cioè coinvolte direttamente nelle vicinanze di una esplosione (quindi un paio per ogni attacco).

²⁴ ICRP

²⁵ la dose collettiva efficace è il prodotto della dose assorbita da un singolo individuo e il numero di individui esposti e si indica in man-Sv

Il caso della risospensione viene suddiviso in due categorie a seconda se il sito si considera a bassa o alta polverosità (Tabella 6) e in base al tempo di permanenza. Nel caso di unica esposizione per 2 ore in situazione di panico (alto rateo di respirazione), limitandoci al caso a polverosità elevata, avremmo un caso letale ogni 2 milioni di persone esposte per due ore. Nel caso di permanenza protratta il rateo passa a 1 ogni 12.000 persone esposte ogni anno.

L'ingestione fortuita di suolo, vedi Tabella 7 ogni grammo di suolo ingerito nelle ipotesi descritte porta alla somministrazione di una dose di 3,35 μSv . Analogamente l'ingestione di alimenti vegetali contaminati (Tabella 8) porta a contributi diversificati, in cui comunque spicca quello da ingestione di acqua potabile (Tabella 7).

Riassumendo potremmo fare uno schema riassuntivo dei vari contributi (tabella 9):

Escludendo tutti i contributi "una tantum", il cui contributo comunque non è affatto trascurabile e che abbiamo considerato nei paragrafi precedenti, considerando un valore medio di dose a persona di 4200 $\mu\text{Sv}/\text{anno}$ (medio geometricamente tra il massimo e il minimo) avremmo un numero atteso di casi letali di tumore pari a circa 1 ogni 12000 persone all'anno, pari a 126 casi su una popolazione stimata in un milione e mezzo di persone, con valore massimo intorno a 200 all'anno. A queste andrebbe aggiunto il numero di casi relativo alle persone coinvolte direttamente nelle vicinanze del bombardamento, anche se queste persone, almeno al livello di esposizione indicato nella tabella 5, potrebbero essere morte per intossicazione chimica da uranio. Il numero dei casi letali è da considerarsi dello stesso ordine di grandezza per quanto riguarda le prime due generazioni successive.

Considerazioni Finali

Le evidenze della pericolosità del DU sono note da oltre venti anni:

Nel 1979, in un rapporto, il US Army Mobility Equipment Research & Development Command sosteneva che l'uso dei proiettili contenenti uranio impoverito mette in pericolo *"non solo le persone nelle immediate vicinanze, ma anche quelle che si trovano a distanza sottovento: [...] le particelle [...] si depositano rapidamente nei tessuti polmonari esponendo l'ospite ad una dose tossica crescente di radiazioni alfa, capace di provocare il cancro e altre malattie mortali"*. Certamente questa non è una fonte dalla parte di chi vorrebbe il bando di queste munizioni. Ma le notizie di fonte governativa statunitense riguardo le precauzioni da adottare in caso di impatto con questo materiale non sono certo scarse. Un altro rapporto proveniente dai Los Alamos National Laboratories afferma che *"i poligoni di prova delle bombe all'uranio impoverito di Aberdeen e Yuma (nei deserti USA, ndr) non potranno essere oggetto di insediamento umano senza preventiva decontaminazione"*.

Ma anche la legislazione statunitense in materia di radioprotezione non è tenera con chi utilizza uranio e addirittura fabbrica queste bombe: Le National Lead Industries, nello stato di New York, è stata chiusa nel 1980 a causa di rilasci eccedenti i limiti imposti e che causavano una eccessiva contaminazione dell'aria. La quantità rilasciata (accidentalmente, quindi) sarebbe stata di "appena" 5,5 MBq in un mese, pari a 375 g di DU, che tradotta in termini da "campo di battaglia" equivale ad uno solo, circa, dei 31.000 proiettili sparati sul Kosovo, secondo le ammissioni della NATO.

Naturalmente non mancano neanche i lavori di segno opposto e altamente allarmanti: Roger Coghill per esempio sostiene che basterebbe una sola particella α per provocare un tumore mortale. Sicuramente un tumore mortale provocato dall'uranio è stato "avviato" da una singola particella, ma si

deve tener conto che di atomi di uranio all'interno del nostro corpo ce ne è un numero enorme, dell'ordine di 10^{14} (centomila miliardi), con una attività complessiva di circa 1 Bq pari, quindi, alla emissione di una particella α ogni secondo della nostra vita. È chiaro che comunque ogni aumento di questo numero ci fa correre dei rischi aggiuntivi che sarebbe meglio evitare. Un milligrammo di uranio infatti ingerito o inalato corrisponde a 10 volte tutto il carico già contenuto in un essere umano normale.

Cominciano ad arrivare anche da noi notizie allarmanti di soldati italiani di stanza nella Bosnia Serba, bombardata nel 1995 con DU: il paracadutista Salvatore Vacca e Giuseppe Pintus sono morti di leucemia. Quanti sono i casi di contaminazione? Che nesso può esserci con il DU. I critici sostengono che non è possibile contrarre la leucemia e morirne dopo un tempo così breve dalla esposizione. Un noto oncologo italiano, nel corso di una trasmissione televisiva, ha smentito tutti sostenendo che, anche se non frequente, tuttavia non può essere escluso.

Invece il Tribunale Internazionale Penale per la Ex-Jugoslavia dell'Aja sembra non avere dubbi e chiede l'archiviazione per la NATO perché *"I gusci di uranio impoverito attorno ai proiettili anticarro, secondo le denunce hanno effetti di contaminazione. Tuttavia non entrano nella lista delle armi proibite e non c'è consenso internazionale sulla loro pericolosità"*. Evidentemente tutto il dibattito scientifico degli ultimi vent'anni sulla questione non ha nemmeno messo il dubbio ai giudici supremi del tribunale, che con questa affermazione (e altre della stessa richiesta di archiviazione) ha perso ogni credibilità internazionale, scientifica e giuridica.

Eppure il problema delle armi all'uranio impoverito è stato dibattuto anche in sede ONU²⁶. La Sottocommissione per la Prevenzione delle Discriminazioni e per la Protezione delle Minoranze nella sua 48° sessione del 30/8/1996 ha adottato una risoluzione in cui *"... le armi di distruzione di massa e in particolare le armi nucleari non devono avere alcun ruolo nelle relazioni internazionali e quindi devono essere eliminate. ... Tutti gli stati ... devono essere guidati, nelle loro politiche nazionali, dalla necessità di eliminare la produzione e la diffusione di armi di distruzione di massa o con effetti indiscriminati e in particolare le armi nucleari, le armi chimiche, il napalm, le bombe a frammentazione, le armi biologiche e le armi contenenti uranio impoverito"*.

26 UN Press Release HR/CN/755 del 4 Settembre 1996

Tabella 1: Caratteristiche DU							
	Comp. %	Attività (kBq/g)	Tempo di dimezzamento	Decadimento	Energia emessa		
					α (Mev)	β (kev)	γ (kev)
238U	99,8	12,4	4,47 10 ⁹ y	α	4,15	–	15,4
					4,20		49,6
235U	0,2	0,16	7,04 10 ⁸ y	α	4,40	–	185
					4,36		144
234U	0,001	2,3	2,46 10 ⁵ y	α	4,7	13	53,2
					4,8		
234Th	Tracce	12,3	24,1 d	β	–	53	93
							63
234mPa (98,87%)	Tracce	12,3	1,17 m	γ	–	820	1001
234Pa (0,13%)	Tracce	12,3	6,7 h	β		422	883
							131
231Th	Tracce	0,16	25,5 h	β	–	288	25,6
						305	84,2

P.De Felice: *La Misurazione dell'Attività dei Radionuclidi Presenti nei Suoli Mediante Spettrometria Gamma*. Ist. Naz. Di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti. ENEA, Dip. Ambiente
CEA–DAMRI: *Radionucleides*. Ottobre 1991

Tabella 2: Armamenti contenenti DU		
<i>Sistema</i>	<i>Obiettivo</i>	<i>Produttore</i>
Cruise Tomahawk III	Silos corazzati, ambienti sotterranei	USA
BLU-107 Durandal	Distruzione di strade	Francia
BLU-109/B 2000	Silos corazzati	USA
B'BU-28 Bombe a guida laser	Comandi e controlli sotterranei	USA
Penetratori presenti negli arsenali USA		
<i>Tipo</i>	<i>Sistema d'arma</i>	<i>Peso (kg)</i>
M829A2 (APFSDS-T) da 120 mm	Carri armati M1A1, M1A2, Abrahams, Leopard II (tedeschi)	4,76
M900 (APFSDS-T) da 105 mm	Carri armati M1, M60A3	3,85
PGU-14 API da 30 mm	Aerei A-10 con cannone GAU-8 Avenger; elicotteri AH-64 Apache con cannone M230	0,30
M919 (APDS-T) da 25 mm	Veicoli Bradley, M2, M3	0,09
PGU-20 (API da 25 mm)	Harrier AV8B, veicoli anfibi leggeri (LAV)	0,35
MK-149-2 da 20 mm	Cannone di difesa missilistica Phalanx CIWS	0,07

Tabella 3: Impatto radiologico del DU: Fondo naturale di radiazioni			
<i>Sorgente</i>	<i>Dose annua, valor medio (μSv)²⁷</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Raggi cosmici	360	300	2000
Radionuclidi di provenienza cosmica	410	200	1000
⁴⁰ K (potassio)	180	100	200
²³⁸ U e ²²⁶ Ra	20	10	50
²²² Rn e ²¹⁴ Po	1100	300	5000
²¹⁰ Pb e ²¹⁰ Po	120	50	200
²³² Th e ²²⁴ Ra	20	10	50
²²⁰ Rn e ²⁰⁸ Tl	160	50	500
totale	2400	1500	6000

²⁷ Il Sievert (Sv) è l'unità di misura della dose assorbita equivalente da radiazioni. Corrisponde al rilascio di 1 joule (unità di misura dell'energia) in un grammo di materia. Per tener conto del diverso danno biologico prodotto da radiazioni della stessa energia ma di diversa natura, l'energia ceduta viene moltiplicata per un fattore chiamato Fattore di Qualità che dipende dal tipo di radiazione e che vale 1 per raggi X e γ , mentre vale 20 per le particelle α .

Tabella 4: Impatto radiologico del DU: esposizione esterna sul sito

Ipotesi: 10 kg di DU rilasciati nell'attacco; area interessata: 10.000 m²; densità del suolo: 1,5 kg/dm³; frazione di tempo trascorso all'esterno: 20%; tempo di esposizione: 1700 ore/anno

<i>Spessore di suolo contaminato (m)</i>	<i>Dose annua (μSv/a)</i>
Superficie: 0	1450
0,01	930
0,05	540
0,15	280

Tabella 5: Impatto radiologico: inalazione istantanea sul sito	
Ipotesi: 10 kg di DU rilasciati nell'attacco; area interessata: 10.000 m ² ; densità del suolo: 1,5 kg/dm ³ ; frazione di tempo trascorso all'esterno: 1 minuto	
DU inalato (mg/sec)	3
Totale DU introdotto (mg)	180
Dose (mSv)	22,6

Tabella 6: Impatto radiologico: inalazione da risospensione		
Ipotesi: 10 kg di DU rilasciati nell'attacco e trasformate in aerosol; area interessata: 10.000 m ² ; densità del suolo: 1,5 kg/dm ³ ;		
concentrazione di DU nelle polveri (%)		0,5
Polveri in aria (mg/m ³)	Min: 0,05	Max: 5
Concentrazione DU (µg/m ³)	Min: 0,25	Max: 25
<i>Permanenza limitata (2 ore, rateo di respirazione: 2m³/ora)</i>		
Dose: Polverosità normale (µSv)		0,14
Dose: Polverosità elevata (µSv)		14
<i>Permanenza protratta (8 ore/g; 250 g/anno; rateo di respirazione: 1,2 m³/ora)</i>		
Dose: Polverosità normale (µSv/anno)		42
Dose: Polverosità elevata (µSv/anno)		4200

Tabella 7: Impatto radiologico: ingestione	
<i>Ingestione accidentale di suolo</i>	
Concentrazione DU (mg/mg)	0,005
Quantità ingerita (g)	1
Dose (μSv)	3,35
<i>Contaminazione acque potabili di falda</i>	
Quantità ingerita al giorno	1 dm ³
DU trasferino nel pozzo	10%
Prelievo annuo (m ³)	40
Volume totale del pozzo (m ³)	900
Concentrazione DU nel pozzo (g/m ³)	1
Dose ($\mu\text{Sv}/\text{anno}$)	900

Tabella 8: Impatto radiologico: contaminazione dei cibi				
<i>Breve termine: 100 g carne; 200 g latte</i>				
Concentrazione superficiale (g/m ²)			10	
Quantità ingerita da un animale (m ²)	Min: 10		Max: 100	
DU ingerito da un animale (g)			500	
Dose giornaliera (μSv)		Carne: 14	Latte: 29	
<i>Lungo termine: 100 g carne; 200 g latte; 300 g cereali; 300 g patate</i>				
Consumo medio di vegetali per animali (kg)			16	
Dose giornaliera (μSv)	Carne: 0,2	Latte: 0,5	Cereali: 7	Patate: 60

Tabella 9: impatto radiologico complessivo

Ipotesi: 10 kg di DU rilasciati nell'attacco; area interessata: 1.000 m²; densità del suolo: 1,5 kg/dm³;

		μSv/a	μSv (una tantum)
Esposizione esterna	superficie	1450	
Inalazione	Istantanea 1 minuto		22600
	Permanenza limitata		0,14 / 14
	Permanenza protratta	42 / 4200	
Ingestione	1 g di suolo		3,35
	Acque potabili (3 l/g)	900	
	Cibo: Breve termine		43
	Cibo: Lungo termine	70	
	Totale parziale	2500 / 6700	22600 + 45 / 60
	Totale (1° anno)	2600 / 6800 + 22600 una tantum	

Figura 1
Decadimento della famiglia dell'U238

figura 2 penetratori al DU

figura 3