

POLITECNICO DI TORINO



DIPARTIMENTO DI ENERGETICA



Massimo Zucchetti, Carlo Crida

**CONSEGUENZE AMBIENTALI E SANITARIE
DELL'UTILIZZO MILITARE
DELL'ENERGIA NUCLEARE**

**PT DE 584/IN
Gennaio 2006**

Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino (Italy)

CONSEGUENZE AMBIENTALI E SANITARIE DELL'UTILIZZO MILITARE DELL'ENERGIA NUCLEARE

Massimo Zucchetti, Carlo Crida

DENER – Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24 – 10129 Torino (Italy)

Rapporto PT DE 584/IN, Politecnico di Torino, Gennaio 2006

Riassunto

L'articolo descrive i danni, sia all'ambiente della Terra intera che alla salute delle vittime, dei test atmosferici di bombe atomiche (test nucleari) e delle attività nucleari a scopo militare in genere. Due casi-studio sono presi come esempio: i test nucleari condotti negli USA negli anni '50 e '60, e il disastro ecologico del complesso nuclear-militare di Mayak negli Urali. Le vittime di queste attività – sia fra i civili che fra i soldati "veterani atomici" - si contano a decine di migliaia.

1. Introduzione

Il progetto Manhattan per lo sviluppo della bomba atomica statunitense negli anni '40 fu il primo grande coinvolgimento di un'intera comunità scientifica in un progetto finalizzato in modo esplicito a scopi militari. Mai prima di allora scienziati avevano lavorato a un progetto nell'ambito del quale fosse loro imposto di sottostare alle regole del segreto militare e di vivere in una cittadella costruita appositamente, a Los Alamos. Nel periodo immediatamente seguente, a partire dal 1946, gli Stati Uniti portarono avanti un programma di test atomici in atmosfera, sia nel Pacifico che nel deserto del Nevada: questi test esposero a radiazioni e fallout¹ centinaia di migliaia di soldati e migliaia di civili. Un programma analogo venne portato avanti dall'URSS a partire dal 1945, con il suo primo ordigno atomico che esplose nel 1949. Il fallout nucleare invase – negli anni 50 - tutto il globo terraqueo.

Sia negli Stati Uniti che in Unione Sovietica vennero costruiti siti e installazioni militari interdette ai civili. Ancora, in URSS furono costruite alcune vere e proprie città segrete, sulle quali soltanto di recente si sono avute testimonianze dirette: esse sono venute alla

¹ Si intende con fallout l'insieme di particelle, ceneri e polveri radioattive prodotte da un'esplosione atomica che, trasportate dai venti, arrivano a contaminare zone anche molto distanti dall'esplosione.

luce soltanto quando i disastri ecologici causati non potevano più essere nascosti. Un esempio è il complesso nucleare militare di Chelyabinsk (Mayak), nel sud degli Urali; qui si produsse – ai primordi dell’era nucleare sovietica – il plutonio necessario per le prime bombe; il centro è tuttora in funzione [1]. I reattori militari in questa installazione hanno scaricato per decine di anni le loro scorie in forma liquida direttamente nell’ambiente, con decine di migliaia di persone esposte ingiustificatamente a dosi² elevatissime. Questa installazione è venuta alla ribalta per la prima volta nel 1957, quando in seguito ad una esplosione (evento di Kyshtym) vennero rilasciati nell’ambiente 20 milioni di Curie³ di materiale radioattivo, poco meno della metà dell’incidente di Chernobyl: a causa di questo evento, 45000 persone vennero esposte a elevati livelli di radiazioni. Le morti in seguito ad insorgenze oltre la norma di patologie tumorali si contano, nell’area, a migliaia.

Queste città nucleari fantasma, dove tecnici e popolazione sono stati costretti per anni a risiedere forzatamente, sono un esempio della scarsissima accuratezza, del basso livello di sicurezza e dello spreco per la vita umana che distinguono la tecnologia militare. Le centinaia di test atomici degli anni ’50 – condotti principalmente da USA e URSS, oltre che da Francia, Gran Bretagna e Cina, causarono poi danni incalcolabili all’ambiente e alla salute dell’intera umanità. Hiroshima e Nagasaki sono soltanto la punta di un iceberg: le vittime degli esperimenti e delle ricerche nucleari in ambito militare sono innumerevoli.

Questo articolo, senza la pretesa di essere esaustivo, parlerà di alcuni di loro: i veterani atomici americani, i civili alto-irraggiati statunitensi e russi: le vittime dell’atomo militare.

2. Nucleare civile e militare: strettamente intrecciati

Il ciclo del combustibile nucleare, avente come scopo l’utilizzo pacifico di questa fonte energetica, comprende l’estrazione del minerale d’uranio, la separazione da esso dei composti dell’uranio naturale, il suo arricchimento nella componente fissile, la

² La dose viene misurata in Sievert (Sv); in realtà il Sv è l’unità di misura della Dose equivalente e si utilizza per valutare il danno da radiazioni ionizzanti. L’attuale limite di dose equivalente per la popolazione è, in tutto il mondo, 1 mSv all’anno.

³ 1 Curie è pari a 37 miliardi di Becquerel, unità di misura della radioattività. Pur non essendo parte del Sistema Internazionale, il Curie è una unità ancora molto utilizzata in ambito radioprotezionistico

fabbricazione del combustibile nucleare, l'utilizzo in reattori di ricerca o di potenza, il riciclo o riprocessamento del combustibile esaurito, lo smaltimento delle scorie radioattive.

Il materiale nucleare utilizzato nelle bombe a fissione lanciate sul Giappone era costituito da uranio arricchito (bomba di Hiroshima) e plutonio (bomba di Nagasaki), due materiali fissili⁴.

Alcune delle tecnologie nucleari per uso civile possono essere utilizzate a scopi militari: tra queste, di particolare delicatezza è l'arricchimento dell'uranio naturale nella sua componente fissile. Si tratta di un processo che altera l'abbondanza isotopica relativa dell'uranio (in natura: ^{238}U al 99,3% e ^{235}U al 0.7%), aumentandone la percentuale di ^{235}U , che è l'unico fra i due nuclidi ad essere fissile. Ogni qual volta un nucleo di ^{235}U si divide (cioè si fissiona) per l'urto con un neutrone, produce almeno due nuovi neutroni, che nel caso di un'esigua massa di materiale fissile, sfuggono senza indurre ulteriori fissioni. Se però si accumula una quantità di uranio arricchito sufficientemente puro e tale da superare la cosiddetta massa critica, si innesca un processo a catena incontrollata, in cui le fissioni di nuovi nuclei si susseguono sempre più numerose. La liberazione di energia che ne deriva ha carattere esplosivo. È necessario però che la massa critica rimanga insieme per un tempo sufficientemente lungo prima di disperdersi nell'esplosione, in caso contrario si avrebbe un'esplosione imperfetta con resa molto bassa.

La bomba di Hiroshima era costituita da due masse di uranio, in ciascuna delle quali lo sviluppo della superficie in rapporto alla massa era tale da non raggiungere la criticità. Una volta accostate le basi delle due parti ne derivava una massa in condizioni critiche. Nella bomba era usata una carica esplosiva convenzionale per spingere una metà della massa di uranio contro l'altra metà lungo un tubo; superata così quella critica, la massa esplose nuclearmente, con la potenza equivalente a 12-13 mila tonnellate di tritolo (12-13 kiloTon).

Se il processo di arricchimento viene portato avanti fino ad avere Uranio arricchito soltanto in alcuni punti percentuali nella componente fissile, questo materiale è utilizzabile esclusivamente per scopi civili, cioè come combustibile in reattori nucleari, in quanto non si riesce ad avere una massa critica sufficientemente bassa da innescare

⁴ Si intende con materiale fissile un atomo che, colpito da un neutrone, può sotto certe condizioni spezzarsi in due atomi più leggeri, più alcuni altri neutroni e dell'energia. Questi ultimi possono a loro volta fissionare altri atomi fissili, dando luogo ad una reazione a catena. L'unico materiale fissile esistente in natura è l'isotopo 235 dell'Uranio. Un altro materiale fissile, artificiale, è l'isotopo 239 del Plutonio.

quei fenomeni esplosivi sopra descritti; se il processo di arricchimento porta invece la componente fissile a percentuali intorno al 90%, questo materiale è utilizzabile per bombe atomiche dello stesso tipo di quella di Hiroshima.

Un'altra possibilità è quella di usare reattori nucleari per produrre plutonio: sotto certe condizioni, a causa dell'assorbimento di neutroni in un reattore nucleare, l'isotopo 238 dell'uranio genera il Plutonio-239, isotopo fissile come l'Uranio-235: se il plutonio viene estratto e separato dal resto del combustibile, con esso è possibile fabbricare un ordigno a fissione come quello dell'atomica su Nagasaki. La bomba di Nagasaki utilizzò il fatto che la massa critica si riduce se il materiale fissile viene compresso così da fare aumentare la sua densità. Una massa sottocritica di plutonio venne circondata da cariche di esplosivo convenzionale che, fatte esplodere, compressero il plutonio in condizioni sopracritiche e produssero un'esplosione equivalente a 20 mila tonnellate di tritolo (20 kiloTon)

Questi possibili "utilizzi devianti", che si inseriscono nel più ampio problema della dualità della tecnologia nucleare (uso civile e uso militare), riguardano qualunque nazione che possieda queste tecnologie [2]. Non è questione di oggi, ma esiste da sempre. Il Trattato di Non Proliferazione (TNP) è stato stipulato nel 1970 fra tutte le nazioni mondiali (quelle che non vi aderiscono si contano sulle dita di una sola mano) proprio per controllare questi aspetti, e l'IAEA (Agenzia Atomica Internazionale, con sede a Vienna) ha fra i suoi compiti proprio quello di implementare questo controllo, attraverso ispezioni periodiche programmate a tutti gli impianti.

Non è compito di questo lavoro mettere in evidenza con quante difficoltà e contraddizioni questo compito sia stato portato avanti in questi decenni, e quanto la connessione fra nucleare civile e militare abbia nuociuto alla causa della pace in passato e negli anni recenti [2].

3. I test nucleari

Un test nucleare è un'esplosione nucleare condotta principalmente a scopi militari, per verificare la potenza di un ordigno in fase di progettazione o per verificare l'efficienza di un ordigno presente in un arsenale.

Gli Stati che fino ad oggi hanno condotto test nucleari sono USA, URSS - Russia, Regno Unito, Francia, Cina, India e Pakistan.

Anche Israele possiede sicuramente la bomba atomica, anche se non è dato conoscere se e quando abbia condotto test, e con quali conseguenze⁵. A questo proposito, risulta davvero sorprendente che fino a non molti anni fa si sia parlato dell'arsenale israeliano come ipotetico, quando la sua realizzazione era ben nota sul finire degli anni 60. La Francia diede nel più grande segreto il suo aiuto a Israele per la realizzazione a Dimona di un grande reattore di ricerca e di un impianto di ritrattamento. De Gaulle ha sempre fatto credere di avere interrotto ogni collaborazione nucleare con Israele quando giunse al governo, ma questo non è possibile, in quanto il programma nucleare francese dipendeva da Israele. Alain Peyrefitte riporta un'esclamazione dello stesso De Gaulle: "Israele ha la sua bomba; anche se non l'ha testata, la possiede; e siamo noi che gliela abbiamo fornita!"⁶. Le ricognizioni sovietiche rivelarono immediatamente gli enormi lavori a Dimona; il 18 luglio 1960 ne parlò esplicitamente il *New York Times*. Del resto, nel 1981 il Ministro degli Esteri iracheno, dopo il raid israeliano sulla centrale che i francesi costruivano a Tamouz, dichiarò davanti all'Assemblea dell'ONU: "Nel 1953 (Israele) concluse un accordo di cooperazione nucleare con la Francia. Nel 1956 si decise di costruire un reattore ultra-segreto a Dimona. Nel 1964 il reattore entrò in funzione con una produzione che poteva raggiungere tra 5 e 7 kg di plutonio all'anno. Si deve notare che il reattore di Dimona è stato ottenuto dalla Francia" L'acquisizione da parte di Israele della bomba atomica può venire fissato intorno al 1968, quando avvennero i primi test termonucleari francesi. Quando divenne difficile nascondere la collaborazione franco-israeliana, gli Stati Uniti decisero di proseguirla in un paese terzo, il Sud Africa, a cui Washington aveva già fornito un reattore di ricerca, ma con cui non poteva proseguire la collaborazione fino alla realizzazione della bomba H alla luce del sole. Si sviluppò così il programma nucleare militare sud-africano: Pretoria divenne il principale fornitore di uranio di Israele.

Tornando alle nazioni "ufficialmente" dotate di armi nucleari, elenchiamo qui di seguito il primo test nucleare condotto dagli Stati che possiedono armi nucleari:

- USA: *Trinity Test*, Alamogordo, New Mexico, 16 luglio 1945;
- URSS: *Joe 1 (First Lightning)*, Semipalatinsk, Kazakistan, 29 agosto 1949;

⁵ Presso il centro di ricerche nucleari di Dimona, nel deserto del Negev, vengono sviluppate le atomiche israeliane. Nel 1966 vi fu un incidente di sovracriticità con almeno una vittima: le attività di Israele in campo nucleare hanno valenza prettamente militare e sono coperte da un fitto segreto. Si raccomandala lettura del testo di Avner Cohen, *Israel and the Bomb*, Columbia University Press, New York, 1998.

⁶ Dominique Lorentz, *Affaires Atomiques*, Les Arènes, Parigi, 2001

- Regno Unito: *Hurricane*, Isole di Monte bello, Australia, 3 ottobre 1952;
- Francia: *Gerboise Bleue*, oasi di Reganne, deserto del Sahara, Algeria, 13 febbraio 1960;
- Cina: 596, Lop Nur, Cina, 16 ottobre 1964;
- India: *Smiling Buddha*, Pokhran, Rajasthan, India, 18 maggio 1974; asserisce che sia stato a scopi "pacifici".
- Pakistan: *Chagai-I*, Belucistan, 28 maggio 1998.

L'Unione Sovietica ha effettuato il suo ultimo test nucleare nel 1990, nel 1991 la Gran Bretagna, nel 1992 gli USA, nel 1996 Francia e Cina; al contrario, il 10 febbraio 2005 la Corea del Nord annuncia di avere armi atomiche, anche se finora non c'è conferma sicura di questa notizia.

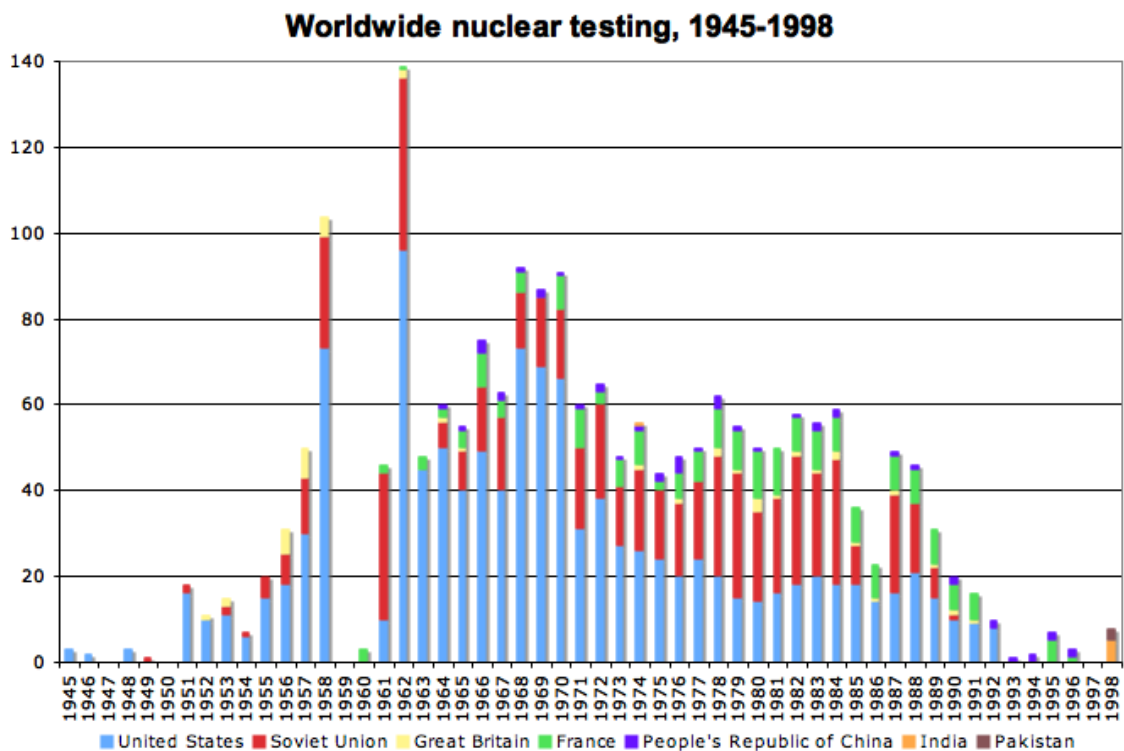


Fig. 1 - I test nucleari nel mondo: 1945-1998

Gli effetti sull'ambiente sono collegati al rilascio di radioattività correlato ad ogni esplosione nucleare. Secondo Greenpeace⁷, fino all'aprile 1996, sono stati circa 2044 i

⁷ Si veda il sito dell'associazione www.greenpeace.it per ulteriori approfondimenti sul nucleare militare.

test condotti fino ad oggi, dei quali 511 nell'atmosfera o in aree marine, per una potenza complessiva di 438 megatoni, ovvero l'equivalente di 29.200 bombe di Hiroshima.

Queste esplosioni hanno portato alla dispersione nell'ambiente – si cita un solo nuclide radioattivo fra tutti - di circa 3800 kg di plutonio.

Inoltre, in molti casi queste esplosioni si sono verificate nelle vicinanze di aree densamente popolate, o hanno visto la partecipazione attiva di truppe terrestri o di forze navali, con un livello praticamente nullo di salvaguardia dagli effetti immediati e di lungo periodo delle radiazioni nucleari.

Tra il 1945 ed il 1993, le cinque potenze nucleari dichiarate (USA, URSS, Gran Bretagna, Francia e Cina fecero esplodere 2031 testate sperimentali. Circa il 25% dei test fu realizzato nell'atmosfera. I test atmosferici raggiunsero una potenza totale di 438 megatoni, pari a 29.000 bombe come quelle di Hiroshima. Più di metà del valore complessivo dei megatoni fu concentrato in un periodo di sedici mesi, da settembre 1961 al dicembre 1962.

In totale, gli americani seguirono (1954/1993) 215 test nell'atmosfera e 812 sottoterra; i russi rispettivamente 207 e 508; la Gran Bretagna 21 e 24; la Francia 45 e 147 (tra cui quelli nell'oceano); la Cina 23 e 16. Alla fine del 1958, gli esperimenti nucleari avevano prodotto sul pianeta circa 65 chili di stronzio 90, con una radioattività totale di 8,5 milioni di curie; la radioattività del cesio 137 alla stessa epoca ammontava a 15 milioni di curie. Il fallout degli esperimenti americani e britannici, di grande potenza e, tutti senza eccezione, in località nei pressi dell'equatore si sono distribuiti uniformemente sopra l'intero globo. Tra il 1952 ed il 1957, gli USA eseguirono 90 test nel poligono nucleare del deserto del Nevada. Quelle esplosioni rilasciarono una quantità di iodio 131 superiore di dieci volte a quella che si sprigionò dalla centrale di Cernobyl. Gli stessi test esposero mediamente ogni cittadino statunitense ad una radiazione pari a 20 mSv (si confronti questo valore con la media del fondo naturale di circa 2 mSv/anno).

Durante i test, il Servizio di Sanità Pubblica degli USA garantiva che il fall out era "nei limiti della sicurezza" ed Edward Teller amava ripetere che la ricaduta di pulviscolo radioattivo esponeva allo stesso danno biologico causato da una sigaretta fumata ogni due mesi.



Fig. 2 - Immagine del test "Dog" nel deserto del Nevada, USA 1951: le truppe ritratte nella fotografia si trovano a 6 miglia dal punto zero.

All'inizio queste esplosioni venivano condotte senza nessun riguardo per l'ambiente naturale, anche a causa dell'ignoranza sugli effetti a lungo termine delle radiazioni nucleari e per un'euforia quasi infantile di fronte alla potenza di questa nuova tecnologia.

In questa fase i test nucleari venivano condotti principalmente sul terreno aperto o nell'atmosfera, per verificare la dinamica delle esplosioni nucleari ed i loro effetti sulle cose e sulle persone, progettare nuove armi nucleari e studiare il successivo fallout radioattivo (che è molto maggiore se l'esplosione nucleare avviene al suolo o sulla superficie del mare).

Questa fase si chiuse con il **PTBT** (*Partial Test Ban Treaty*, Trattato sul bando parziale dei test nucleari), firmato il 5 agosto 1963 ed entrato in vigore il 10 ottobre 1963. Successivamente i test nucleari sono continuati nel sottosuolo, e con potenze minori a partire dalla firma tra USA e URSS del **TTBT**, il *Threshold Test Ban Treaty* (Trattato sulla soglia dei test nucleari), firmato il 3 luglio 1974, che limitava le esplosioni sotterranee alla potenza di 150 chilotoni. Ma si è dovuto aspettare il 24 settembre 1996 per avere un nuovo Trattato, il **CTBT** (*Comprehensive Test Ban Treaty*, Trattato complessivo sulla messa al bando dei test nucleari), che a tutt'oggi *non è ancora entrato in vigore*. Al 3 gennaio 2006, soltanto 33 dei 44 Stati la cui ratifica è necessaria per l'entrata in vigore l'hanno ratificato: fra le assenze più notevoli, elenchiamo Stati Uniti, Cina, India, Pakistan, Iran, Israele, Indonesia, Corea del Nord⁸.

⁸ Si veda il sito: <http://www.ctbto.org/>

Come accennato, nel 1963, l'incalzante aumento della radioattività costrinse le potenze nucleari al trattato PTBT; tuttavia, questo trattato (che proibiva le esplosioni sperimentali nell'atmosfera, negli oceani e nello spazio cosmico, limitandole al sottosuolo) ebbe come risultato lo scatenarsi di una serie apocalittica di esplosioni sotterranee sempre più potenti e sempre più numerose. Fino al 1983, i test nucleari seguirono il ritmo forsennato di uno alla settimana. Nel solo 1968, gli USA eseguirono ben 55 esplosioni sotterranee, i russi 18.

3.1 I test nucleari francesi

Come già accennato, la Francia iniziò i test nucleari nel 1960, nel deserto algerino. Questi test si protrassero fino al 1963. A causa del movimento indipendentista algerino, la Francia fu costretta a sospendere i test nucleari nel deserto del Sahara in quell'anno, e il generale de Gaulle annunciò che gli esperimenti sarebbero stati condotti nei minuscoli atolli di Mururoa e Fangataufa, nelle Isole Tuamotu della Polinesia Francese; fu così che nacque il *Centre d'expérimentations du Pacifique*⁹. Dopo aver proseguito con test di bombe a fissione, la Francia testò la sua prima bomba H il 24 agosto 1968, nell'atollo Fangatuafa del Pacifico. Le esplosioni nucleari e termonucleari francesi si susseguirono ininterrottamente per tutti gli anni '60 e '70, con gravissime conseguenze per l'ambiente degli atolli, del Pacifico, e anche a livello mondiale¹⁰. In seguito alle continue proteste a livello mondiale, nel 1981 i test vennero trasferiti sottoterra, ma ciò non scongiurava gravi conseguenze.

Ad esempio, il 5 novembre 1988 la Francia realizzò nelle acque dell'atollo di Mururoa un'esplosione nucleare di 50 chilotoni. Il 24 novembre dello stesso anno, la Francia eseguì un'identica esplosione. Secondo Renè Pelat, direttore della commissione francese per l'energia atomica (CEA), dopo 193 esperimenti nucleari tra il 2/7/66 e il 26/1/96 nei due atolli della Polinesia francese¹¹, sembra che ci siano profonde incrinature alla base degli stessi atolli, incrinature dovute esclusivamente al riassetto della massa basaltica a seguito delle esplosioni atomiche. Le associazioni ambientaliste accusano il governo francese di non aver preso sufficienti misure di sicurezza dopo i test nucleari:

⁹ Dominique Lorentz, *Affaires Atomiques*, Les Arènes, Parigi, 2001

¹⁰ Eric Weingartner (a cura di) "Il Pacifico avvelenato. Le conseguenze degli esperimenti nucleari sui popoli dell'area." Macro Edizioni, Forlì, 1992.

¹¹ Bruno Barrillot "Les essais nucléaires français 1960-1996. Conséquences sur l'environnement et la santé », Centre de Documentation et de Recherche sur la Paix et les Conflits, Lyon, 1996.

l'inquinamento a Mururoa e Fangataufa è centinaia di volte al di sopra della soglia di pericolo.

Gli esperimenti atomici condotti a Mururoa dai francesi¹² nel 1979 avevano provocato frane sottomarine in un atollo già fratturato dalle precedenti esplosioni, con conseguenti tsunami che avevano danneggiato anche la lontana isola di Pitcairn. Dopo aver negato ogni connessione fra la bomba atomica e l'ondata, solamente nell'85 le autorità francesi ammisero *“l'incidente del 25 luglio '79”*.

Quando nel 1995 il presidente francese Jacques Chirac annunciò che la Francia avrebbe condotto una nuova serie di esperimenti sotterranei, da tutto il mondo si levò un coro di proteste e condanne. Le strade di Papeete furono teatro di disordini durante i quali centinaia di automobili vennero rovesciate e interi edifici furono dati alle fiamme, mentre il Cile e la Nuova Zelanda ritirarono i propri ambasciatori da Parigi. I test furono completati all'inizio del 1996 e il governo francese ora sostiene che il programma di sperimentazione nucleare è terminato. Dopo più di 150 test, ora a Moruroa e Fangataufa è tornata la calma, ma resta ancora da vedere quali saranno gli effetti nel futuro.

3.2 I test nucleari cinesi

I test cinesi iniziarono – come detto – il 16 ottobre 1964. Da allora, la Cina ha condotto 45 test nucleari, dei quali 23 in atmosfera e 22 sottoterra (dei quali il primo nel 1969). La potenza di questi test varia fra 1 KiloTon e circa 4 MegaTon. Quest'ultimo, il più grande test atmosferico cinese, venne compiuto il 17 novembre 1976.

Tutti i test sono stati svolti nel poligono di Lop Nur, nella parte occidentale del paese. Dopo un ultimo test sotterraneo nel 1996, la Cina si è autoimposta una moratoria sui test nucleari. Le conseguenze dei test cinesi trovano un'assenza totale di pubblicistica a riguardo.

La ripresa dei test francesi nel 1998 ha interrotto temporaneamente una moratoria voluta dalla stessa Francia nel 1992 e alla quale aderivano tutte le potenze atomiche Cina esclusa. L'effetto della decisione di Chirac era dirompente e rischiava di far allontanare definitivamente la conclusione del Trattato per la messa al bando globale dei test atomici (CTBT).

¹² Processo giudiziario contro il Governo francese numero T-219/95 R promosso da Marie-Thérèse Danielsson, Pierre Largentreau e Edwin Haoa, residenti a Tahiti, Polinesia francese

3.3 I test nucleari di India e Pakistan

In ambito nucleare, la connessione fra atomo civile e militare è emblematica di quanto sta capitando in molti altri settori. Di recente, infatti, la figura dello scienziato nucleare quale protagonista del coinvolgimento dei tecnici nell'ambito militare è assai sbiadita. La fine della guerra fredda e la necessità/opportunità del ricorso in guerra ad armi "convenzionali" (per le quali vi è praticamente mano libera), mentre per le armi nucleari vige tuttora la "maledizione di Hiroshima", ha messo in evidenza una nuova figura: lo scienziato "*dual use*". Si intende con "*dual use*" una tecnologia che si suppone abbia utilizzi sia civili che militari. Qualche esempio? Se ne trovano molti nel campo dell'elettronica e dell'informatica: dall'elettronica "di controllo" per aeromobili e missili vari, al "*remote sensing*", il controllo dall'alto – via satellite - che viene sviluppato come aiuto all'agricoltura e alla meteorologia, ma che ha molte ed evidenti applicazioni militari e di "*intelligence*" (che una volta si chiamavano più prosaicamente spionaggio).

L'artificio dell'utilizzo civile pacifico non è una invenzione recente, e si hanno esempi anche più clamorosi proprio in ambito nucleare; per alcuni anni, prima di gettare la maschera e di puntarsi reciprocamente le armi nucleari addosso, India e Pakistan hanno sviluppato le ricerche sulle armi nucleari gabellandone l'uso come "esplosivi nucleari civili", da utilizzare per le "grandi opere" (dighe, miniere, strade, depositi sotterranei) al posto del tritolo.

La corsa agli armamenti nucleari dell'India è stata per la prima volta stimolata da uno scontro al confine della Cina, verificatosi nel 1962, e da un test nucleare condotto da Beijing nel 1964. L'India condusse la sua prima detonazione nucleare, che definì "un'esplosione nucleare pacifica", il 18 maggio 1974. Questo test, riuscito soltanto in parte, aveva una potenza di circa 18 kiloton. Successivamente l'India fece progressi significativi nella rifinitura del design delle sue armi e nella capacità di fabbricazione (che prevedeva la riduzione delle dimensioni delle armi e l'incremento della loro efficienza e potenza attraverso l'alimentazione della fissione con il trizio). L'India probabilmente cominciò a lavorare sull'arma termonucleare prima del 1980. Verso il 1989 era risaputo pubblicamente che stava lavorando all'isolamento e alla purificazione dell'isotopo Litio-6, una chiave fondamentale per la produzione di un ordigno

termonucleare, in quanto mezzo per produrre trizio¹³. Secondo alcune stime, l'India sarebbe in possesso di circa 65 armi nucleari benché alcuni dati parlino di 200 ordigni nucleari. Queste stime così alte sono basate sulla quantità di plutonio che può essere estratta dai sei impianti nucleari di acqua pesante non sorvegliati. L'11 maggio del 1998 l'India ha condotto tre test nucleari sotterranei all'altezza di Pokharan. Due giorni più tardi, dopo aver eseguito altri due test sotterranei il governo annunciò il programma di una serie di esperimenti. I tre test nucleari sotterranei condotti alle 15:45 dell'11 maggio, erano di tre ordigni differenti: un ordigno a fissione con una potenza di 12 kiloton, uno termonucleare con una potenza di circa 43 kiloton e uno a subkilotoni. I tre ordigni sono stati detonati simultaneamente. I due test eseguiti alle 12:21 del 13 maggio sono stati ugualmente detonati simultaneamente. La potenza dei due ordigni a subkiloton era in media 0,2 - 0,6 kiloton.

Il Pakistan è carente di infrastrutture idonee allo sviluppo di un'intensa ricerca nucleare e la sua corsa agli armamenti non è estesa come quella dell'India. La quasi totalità del suo programma nucleare è finalizzata all'applicazione dell'atomica sugli armamenti. Il Pakistan ha focalizzato i suoi sforzi sullo sviluppo dell'uranio altamente arricchito e ha sfruttato un'estensiva rete clandestina di approvvigionamento per perseguire il suo scopo¹⁴.

Le attività pakistane sono centrate in poche basi tra le quali la più importante è l'impianto di Kahuta. L'assistenza del governo cinese al programma delle armi nucleari pakistano risale all'accordo di cooperazione nucleare del 1986.

L'assistenza della Cina al Pakistan è anteriore all'accordo di cooperazione atomica pakistana del 1986, visti gli avvenimenti occorsi tra il 1980 e il 1985. La Cina è considerata come colei che procurò al Pakistan il progetto di una delle sue testate di guerra e sufficiente uranio arricchito per la costruzione di alcune armi. Il design da 25 kilotoni era lo stesso utilizzato dalla Cina per il suo quarto test nucleare: un test atmosferico basato sul lancio di un missile balistico. Il ministro degli esteri pakistano Akub Khan era presente sul sito di testaggio cinese Lop Nor per testimoniare la prova di

¹³ Il Litio-6 reagisce con neutroni termici, formando trizio ed elio. Si può pertanto utilizzare un flusso neutronico, come quello termico presente in un qualsiasi impianto nucleare, per produrre trizio partendo dal Litio-6.

¹⁴ P. Bidwai, A. Vanaik "New nukes. India, Pakistan and Global Nuclear Disarmament", Signal Book, Oxford, 2000.

un piccolo ordigno nucleare nel maggio del 1983. Da qui girò la voce che l'ordigno testato era stato assemblato in Pakistan.

Il 28 maggio del 1998 il Pakistan annunciò di aver condotto con successo cinque test nucleari. Secondo l'annuncio i risultati erano conformi alle aspettative e non c'era stata dispersione di radioattività. La commissione per l'energia atomica del Pakistan dichiarò che i cinque test nucleari misuravano fino a 5.0 nella scala Richter e che la loro potenza era di 40 kiloton. Secondo i rapporti locali queste detonazioni si verificarono in un periodo di circa 2 ore. Il 30 maggio del '98 il Pakistan sperimentò un'altra testata nucleare con una potenza di 12 kiloton. Gli esperimenti, condotti a Balochistan, portarono il totale dei test a sei. Venne inoltre dichiarato da fonti pakistane che almeno un altro ordigno inizialmente realizzato per esplodere il 30 maggio '98 sarebbe rimasto sotto terra, pronto per la detonazione.

Di diverso parere sembrano essere alcune fonti indiane, secondo le quali solo due ordigni erano stati veramente detonati e la loro potenza era considerevolmente inferiore da quella dichiarata dal Pakistan.

4. Le vittime dell'atomo militare in USA

Sui test nucleari negli Stati Uniti vi è pubblicistica sufficiente per tentare un bilancio delle vittime; è quello che ci accingeremo a fare in questa sezione del lavoro.

4.1 I primi veterani atomici: Hiroshima e Nagasaki

La città di Hiroshima stima 200.000 vittime dell'esplosione atomica del 6 agosto 1945, anche se si trovano in letteratura cifre oscillanti fra 60.000 e 300.000 vittime [3]. Le stime per Nagasaki sono inferiori, ma dello stesso ordine di grandezza: mentre Hiroshima si trovava su una spianata, la collinosità del sito di Nagasaki rese le conseguenze dell'esplosione del 9 agosto leggermente meno gravi.

Contrariamente a quanto affermato inizialmente dal presidente Truman, la maggior parte delle vittime furono civili, in buona parte donne e bambini.

Sebbene la distinzione sia priva di senso, occorre rimarcare come fra le vittime vi fossero molti americani di origine giapponese, presenti in Giappone a causa dello scoppio della guerra fra i due paesi nel 1941. Anche alcuni soldati statunitensi, prigionieri di guerra, furono fra le vittime dirette delle bombe di Hiroshima e Nagasaki.

Soltanto sei settimane dopo lo scoppio, oltre un migliaio di soldati (principalmente marines) statunitensi furono inviati nei luoghi più vicini al centro dell'esplosione di Nagasaki, per effettuare operazioni di sgombero: dichiarazioni del comando militare statunitense, infatti, affermavano che gli scienziati non avevano riscontrato la presenza di alcun pericolo sul luogo dell'esplosione. Operazioni simili, anche se con un minor numero di soldati, vennero effettuate a Hiroshima [4]. In realtà, terreno e acque nelle due zone furono contaminate a livelli proibitivi per l'uomo per periodi assai prolungati [5,6]. Le affermazioni ufficiali sui bassi livelli di radioattività nei luoghi dell'esplosione dopo appena qualche settimana dall'evento vennero smentite definitivamente dalla desegretazione di un rapporto del Naval Medical Research Institute [7] del 1946: nell'ottobre 1945 i livelli di radiazione a Hiroshima e Nagasaki erano ancora dieci volte superiori al massimo livello ammissibile per la popolazione [8].

I tassi di mortalità e di insorgenza di patologie tumorali furono – fra i militari/liquidatori – molto più alte del normale, come testimoniato anche dalle molte dispute legali intentate negli anni successivi [9-12]. Si tratta dei primi casi di una lunghissima lista di “veterani atomici” dell'esercito degli USA [13], costituitisi in un Comitato (“Committee for US Veterans of Hiroshima and Nagasaki”) [14,15]. Le azioni di questo Comitato e dei suoi membri per ottenere giustizia hanno trovato eco sulla stampa nazionale statunitense [16].

4.2 I primi test atomici: Crossroads e Sandstone

Con il nome di “Operazione Crossroads” vennero chiamati i test atomici all'atollo di Bikini (Oceano Pacifico) del 1946, ideati per valutare gli effetti delle bombe atomiche [17]. Ai test partecipò personale dell'esercito USA pari a 42000 unità circa, oltre a diverse centinaia di esperti civili [18]. Delle circa 200 navi impiegate nell'operazione, una era tra l'altro interamente dedicata ad animali (circa 4000) che vennero impiegati per testare gli effetti delle esplosioni atomiche sugli esseri viventi. Un altro aspetto che venne studiato fu la diffusione della contaminazione per via aeriforme e acquatica.

Un aereo B-29 sorvolò l'atollo e sganciò la bomba da 20 kTon [19]. Non appena si dissipò il flash iniziale dell'esplosione, due motoscafi della Marina si avvicinarono al punto dell'esplosione fino a quando non misurarono la presenza di radiazioni ad un livello “pericoloso”. Nel frattempo, centinaia di esperti ripresero e studiarono gli effetti dell'esplosione da 20 kTon sui relitti di portaerei, navi da battaglia ed altri residuati (in totale, 73 vascelli) che erano stati posti nelle immediate vicinanze per simulare una

flotta nemica colpita da un'atomica [20]. Solo il 25% circa dei partecipanti all'operazione Crossroads aveva un dosimetro personale [21], percentuale che scese intorno al 10% per i successivi test atomici

Due anni dopo Crossroads, nell'aprile-maggio 1948, ulteriori tre test atomici ebbero luogo in un altro atollo delle isole Marshall, l'atollo di Eniwetok, per la cosiddetta "Operazione Sandstone". Personale per circa 20.000 unità partecipò all'operazione. Durante questi test, vennero migliorate le prestazioni delle bombe atomiche, arrivando ad un'esplosione da 49 kiloTon (denominata in codice Yoke) [21]

4.3 Le bombe all'idrogeno

L'esplosione delle atomiche di Hiroshima e Nagasaki fu il primo atto di una inevitabile escalation fra le grandi potenze [22]. Il 25 dicembre 1946 il gruppo di Igor Kurchatov a Mosca ottenne la prima reazione a catena sul suolo eurasiatico, l'analogo della Pila di fermi. Dopo soli 50 mesi, l'Unione Sovietica esplose la sua prima bomba atomica il 29 agosto 1949. A loro volta, gli Stati Uniti decisero – sotto la spinta principale del fisico Edward Teller – di procedere allo sviluppo di una bomba atomica molto più potente di quelle a fissione, un ordigno a fusione nucleare, la bomba all'idrogeno o bomba H [17]. Questa decisione aveva poco a che vedere con la difesa e molto con l'economia: i circa 180 test atomici effettuati in atmosfera dagli USA negli anni '50 sono stati principalmente un grosso affare economico. L'elenco delle grandi aziende, nazionali e multinazionali, coinvolte fin dall'inizio nel grande business dei test atomici vede nomi quali Du Pont, Westinghouse, Standard Oil Development Co., Union Carbide, Kellogg Corp., Blaw-Knox, Dow Chemical [23]. Nel 1950, ben prima di qualunque utilizzo pacifico, l'atomo era diventato un affare da un miliardo di dollari (dell'epoca) all'anno [24]. Alla fine del 1955, gli USA investivano 12.000 milioni di dollari nell'industria atomica, che impegnava 130.000 tecnici ed aveva 10 stabilimenti per la produzione di materiale nucleare militare.

Nell'aprile del 1951, nei pressi dell'atollo di Eniwetok alle isole Marshall, iniziarono le operazioni ed i test che avrebbero condotto alla prima bomba H, denominati in codice Operazione Greenhouse. Altre migliaia di militari e tecnici civili statunitensi parteciparono al test. La prima esplosione ebbe luogo nel maggio 1951 [17,25].

Nonostante la presenza di contaminazione radioattiva, un laboratorio per l'ulteriore sviluppo dei test venne costruito nella parte nord dell'atollo di Eniwetok, sull'isola di

Elugelab [26]. Nel laboratorio erano stoccati quantitativi di deuterio a bassa temperatura, combustibile per le bombe H, oltre a materiale per bombe a fissione. Il 1 novembre 1952 il materiale contenuto nel laboratorio fu utilizzato per una esplosione di un ordigno termonucleare con potenza di 10 MegaTon, circa 1000 volte la potenza della bomba di Hiroshima. L'isolotto di Elugelab sparì letteralmente dalla carta geografica del mondo [27].

Nel 1954, le bombe H erano definitivamente perfezionate ed affidabili come armi di guerra: fra febbraio e maggio di quell'anno, durante l'operazione Castle, sei varianti di bomba H vennero detonate [28]. La prima e più potente, chiamata in codice "Bravo", aveva una potenza di 15 MegaTon: in questa operazione, il personale più esposto fu – fra i militari – quello del vascello militare Curtis, che venne tenuto sottocoperta per tre giorni a causa della presenza del fallout radioattivo. Dopo questo intervallo, appena la presenza fisica evidente del fallout (le particelle e le ceneri) sparì, i marinai della nave non furono sottoposti a nessuna ulteriore restrizione, neppure quella di fare il bagno in prossimità del luogo dell'esplosione, nuotando in mezzo a migliaia di esemplari di fauna marina morti per gli effetti della bomba [29].

Gli abitanti dell'atollo di Rongelap, 86 persone che vivevano lì da sempre, vennero esposti direttamente al fallout delle esplosioni dell'operazione Castle, poiché il vento spirava nella direzione del loro atollo. Vennero evacuati soltanto due giorni dopo l'esplosione, quando ormai la maggior parte del danno da radiazioni era già avvenuto; le dosi furono così elevate da causare effetti immediati: astenia, vomito, ustioni. Analogamente, negli atolli di Rongerik e Utirik, abitanti delle isole e personale americano furono esposti a livelli di radiazione altissimi ed evacuati solo con grande ritardo. Il numero totale di abitanti degli atolli delle isole Marshall evacuati assomma a diverse centinaia [30,31]; moltissimi di loro – specie fra i bambini – hanno avuto effetti immediati o ritardati dovuti all'alto irraggiamento.

Fra le vittime dell'operazione Castle vanno anche contati alcune decine di marinai giapponesi del peschereccio "Lucky Dragon", che si trovava 80 miglia ad est dal centro dell'esplosione del test Bravo. Le dosi elevate che ricevettero li esposero agli effetti immediati delle radiazioni: a causa di queste, 23 morirono entro sette mesi, gli altri vennero ospedalizzati per mesi [32].

Il grande problema delle esplosioni di bombe H con potenze superiori al MegaTon era causato dal fallout. La grande potenza termica sviluppata spingeva verso gli strati più alti dell'atmosfera i prodotti radioattivi dell'esplosione, causandone il trasporto ad

elevatissime distanze ed inquinando praticamente tutto il globo terrestre. La potenza delle bombe H era quindi arrivata ad un punto oltre il quale l'intero pianeta poteva venire contaminato dal fallout: proprio a partire dai primi anni '50, ogni stazione di rilevamento situata anche a decine di migliaia di chilometri dai luoghi dei test nelle isole Marshall potevano riscontrare l'aumento progressivo della radioattività ambientale dovuta alle esplosioni. La Terra era diventata un luogo troppo piccolo per la potenza di questi ordigni, ed il concetto stesso di "guerra nucleare limitata" perdeva di significato. In caso di una guerra con uso di bombe atomiche di questa potenza, quindi, tutto il pianeta – vincitori e vinti – sarebbe stato vittima dell'inquinamento radioattivo.

4.4 I test atomici nel Nevada

Nel 1950, gli Stati Uniti scelsero, all'interno del proprio territorio, un luogo sicuro dove poter sperimentare esplosioni atomiche in atmosfera; alcuni siti in Nuovo Messico, Utah e Nord Carolina vennero scartati a favore di un'area desertica del Nevada, a nord-ovest di Las Vegas [33].

Venne avviato un massiccio programma di test di bombe atomiche a fissione. Negli anni '50 ed inizio anni '60, vennero esplose più di 200 atomiche fra Oceano Pacifico (bombe H) e Nevada (bombe a fissione). La potenza esplosiva totale di questi ordigni è stimabile in circa 90 MegaTon, circa 7000 volte la bomba di Hiroshima [34].

La zona desertica del Nevada scelta come poligono non era però del tutto disabitata: molti insediamenti civili si trovavano purtroppo in direzione sottovento e troppo vicini ai luoghi dei test. Ad esempio, la cittadina di Enterprise, nel Utah sudoccidentale, era una comunità rurale assai sviluppata distante soltanto 100 miglia dai poligoni, e venne regolarmente investita dai fallout delle esplosioni. Analogamente, altri insediamenti come ad esempio le cittadine di Cedar City, Parowan, St. George e Fredonia – sempre intorno al poligono - videro migliaia di civili esposti alle conseguenze dei test atomici. Fra di loro, le insorgenze di patologie tumorali ed altri danni da radiazione (leucemie, linfomi, danni acuti alla tiroide, altri tumori) furono assai superiori alla norma [35].

Queste esposizioni alle radiazioni e le loro conseguenze sui civili non erano ignote agli esperti statunitensi. In una conferenza della Commissione per l'Energia Atomica nazionale degli Stati Uniti (AEC), svoltasi a Los Alamos nell'agosto 1950, venne valutato che una esplosione atomica da 25 kiloTon provocava dosi superiori ai livelli di emergenza in un raggio di circa 100 miglia sottovento [36]. Le dosi citate (6-12 r, ovvero in unità moderne circa 60-120 mSv) sono tra l'altro – viste con i parametri

odierni - assai alte, da confrontarsi con - ad esempio - il fondo naturale da radiazione pari a 2-3 mSv all'anno o il limite annuo di dose per la popolazione e i lavoratori non professionalmente esposti (1 mSv l'anno). Ciononostante, per molti anni la AEC non fece altro che rassicurare la popolazione e la comunità scientifica, affermando l'inesistenza di alcun pericolo [37]. Nel 1957, ad esempio, la AEC distribuì un libricino intitolato "Test atomici nel Nevada" ai residenti della zona esposti ai fallout, dove si assicurava che "ogni esplosione che ha luogo in Nevada è accuratamente studiata dal punto di vista della vostra sicurezza prima di essere messa in programma". La realtà era purtroppo ben diversa: nel Rapporto conclusivo di una commissione di inchiesta della Camera dei rappresentanti degli USA si afferma, nel 1980, che "il programma del governo degli Stati Uniti per il monitoraggio degli effetti sulla salute dei test atomici era inadeguato; oltretutto, ogni evidenza che suggeriva come le radiazioni dovute ai test stessero avendo effetti nocivi, sia su animali che sull'uomo, venne non soltanto trascurata, ma deliberatamente soppressa" [38].

E' ancora più notevole il numero di soldati statunitensi che vennero utilizzati come vere e proprie cavie durante le manovre connesse con molte delle esplosioni atomiche nel Nevada.



Figura 3 – I veterani atomici nel deserto del Nevada

La prima serie di test nucleari iniziò nel gennaio 1951 e fu chiamata in codice "Operazione Ranger". Nel giro di 10 giorni, 5 bombe atomiche vennero sganciate da

aerei, con una potenza da 1 a 25 kiloTon. La città di Las Vegas, sebbene non sottovento, distava soltanto 65 miglia dal luogo delle esplosioni (chiamato Nevada Test Site): in città si ebbero pochi effetti visibili delle esplosioni, a parte alcuni vetri rotti [39].

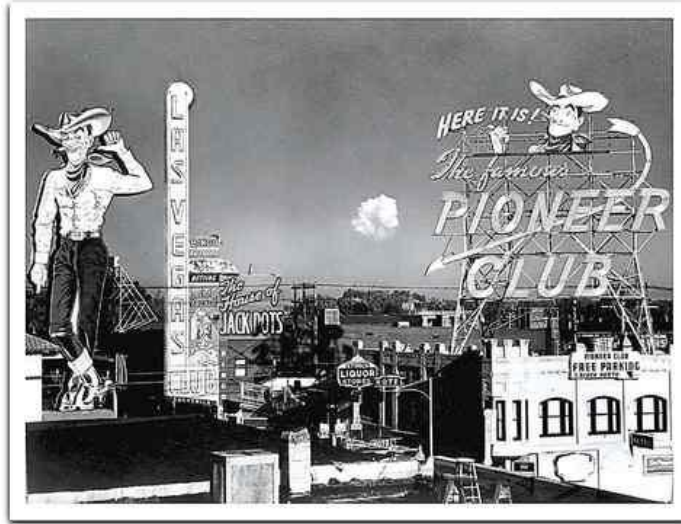


Figura 4 – I test atomici nel deserto del Nevada non erano molto distanti da Las Vegas

Così come nei test di bombe H del Pacifico, anche qui non c'era alcun programma di valutazione delle conseguenze delle radiazioni sugli esseri umani.. Al contrario, in molti di questi test venne verificato – utilizzando migliaia di soldati per le manovre – la rispondenza delle truppe a ordini e la loro abilità in combattimento durante e appena dopo un'esplosione atomica nelle immediate vicinanze.

In una prima serie di manovre, la distanza fra il punto di esplosione e le truppe era di 7 miglia [40]. Successivamente, questa distanza venne giudicata troppo grande, e si passò a distanze intorno alle 4 miglia, ed anche meno, compatibilmente con la potenza degli ordigni, che era comunque relativamente poco elevata, trattandosi di bombe a fissione con potenza da alcuni a qualche decina di kiloTon [41].

Nel 1952, circa 8000 soldati parteciparono alle manovre chiamate in codice “Tumbler-Snapper”, durante le quali vennero esplose 8 bombe atomiche, per una potenza totale di oltre 100 KTon [39].

Nel 1953, circa 17000 soldati parteciparono all'operazione Upshot-Knothole, sempre con esplosioni di bombe atomiche a fissione e manovre militari in contemporanea. Molte migliaia di questi soldati si trovavano a distanze intorno alle 2 miglia soltanto rispetto all'esplosione. Il limite di dose mediante il quale si calcolavano le condizioni di

sicurezza era di 6 r per ogni esplosione (in unità attuali, 60 mSv, circa tre l'attuale limite di dose annua dei lavoratori professionalmente esposti) [39]. Dopo le esplosioni, ai soldati veniva ordinato di marciare verso il punto dove era scoppiata la bomba. I veterani atomici (così, lo ricordiamo, sono denominati tutti questi soldati) non portavano alcun dosimetro personale o altra apparecchiatura di misura delle radiazioni [42].

Un ultimo esempio di test particolarmente dannoso per l'uomo e l'ambiente che si vuole citare fu quello del 19 maggio 1953 al Nevada Test Site, chiamato in codice "Harry". Le condizioni atmosferiche di quel giorno portarono massicciamente il fallout sulla cittadina di St. George: la pioggia di ceneri radioattive era così elevata da impedire la circolazione alle automobili a causa della scarsa visibilità. La contaminazione del latte e dei raccolti fu elevatissima e le dosi ricevute dalla popolazione erano tali da imporre un'immediata evacuazione, che non ebbe luogo [43].

4.5 Un bilancio delle vittime negli USA

Secondo quanto riportato dal sito ufficiale del governo statunitense (US Office of Public Health and Environmental Hazards, [13]), circa 195.000 dipendenti del Governo degli USA sono stati identificati e riconosciuti per aver prestato servizio nell'occupazione di Hiroshima e Nagasaki nel periodo immediatamente successivo alle esplosioni atomiche. Di questi, come detto, migliaia furono direttamente impiegati nelle operazioni di sgombero delle macerie, specialmente a Nagasaki.

In aggiunta a ciò, sempre secondo le stesse fonti ufficiali, un totale di circa 210.000 persone (per la maggior parte militari, ma non solo) è accertato abbiano partecipato a test di bombe atomiche fra il 1945 e il 1962, sia negli Stati Uniti che negli Oceani Pacifico e Atlantico, prima del bando dei test di superficie, che si ebbe nel 1963 [13]. Questa stima ufficiale non differisce di molto da quella effettuata in altri rapporti [3], che parlano di un numero totale di esposti pari a 300.000 soldati.

Gli studi più affidabili di tipo epidemiologico sono stati quelli sui civili giapponesi sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki. Questi studi confermano che esposizioni a radiazioni come quelle subite dai "veterani atomici" vanno associate alle maggiori insorgenze di diverse patologie che si ebbero fra queste persone, quali ad esempio leucemia, diversi tipi di tumore, cataratta, immunodepressione, e molte altre.

Il governo degli Stati Uniti ha istituito un apposito organismo che cura gli interessi e la salute dei militari veterani, la VA (Veterans Administration): gli “Atomic Veterans”, dopo molte battaglie, hanno ottenuto il riconoscimento dello stato di veterani e i loro stessi privilegi [13].

Analogamente ai veterani atomici, e con ancora meno diritto di scelta e consapevolezza,, migliaia di civili – sia nelle isole Marshall che intorno al Nevada Test Site negli USA – subirono irraggiamenti ingiustificati a causa di test atomici, e vi sono in queste popolazioni evidenze epidemiologiche chiare di aumento di frequenza delle stesse patologie riscontrate sui veterani atomici.

5. Vittime dell’atomo militare in URSS: Mayak

I disastri ambientali ed umani dovuti allo sviluppo e prova del nucleare militare in Unione Sovietica sono stati molti. Noi qui scegliamo di illustrare il caso più clamoroso e grave [44], il complesso militare nucleare di Mayak..

5.1 *Mayak, Techa, Karachai, Kyshtim*

Come abbiamo visto, l’utilizzo di armi atomiche da parte degli USA, condusse il governo dell’URSS sulla stessa strada; subito iniziò la costruzione di due impianti per l’arricchimento e la produzione di plutonio [1], uno a Mosca, e il secondo di questi collocato a Chelyabinsk, nel Sud degli Urali, presso la città di Sverdlovsk (ora Ekaterinburg); presto furono costruite, nei pressi dell’impianto, numerosi edifici per attività ausiliarie e le abitazioni degli addetti all’impianto

Il sito tra le montagne degli Urali fu scelto a causa della sua posizione strategica, lontano dai confini del paese, inaccessibile ai raid degli aerei spia USA, ma tuttavia vicino alle necessarie vie di comunicazione. Questo complesso prese il nome di “Mayak” (Faro); all’inizio le città, chiuse ai civili non autorizzati, furono identificate solo con il codice postale (Chelyabinsk-40, Chelyabinsk-65) e sparirono dalle mappe geografiche. Alla fine del 1947, il primo reattore militare fu pronto ad operare; nel giugno del 1948 iniziò la sua attività e raggiunse il pieno carico. Prodotte plutonio per oltre 39 anni, fino a quando il 16 giugno 1987 fu chiuso. Tre reattori supplementari entrarono in funzione tra il 1950 ed il 1952 [45].

Nel frattempo, nel 1948 entrò in funzione un impianto per la separazione del plutonio, dove il plutonio prodotto nel reattore veniva estratto dal combustibile e purificato fino al 90% per poter ottenere materiale buono alla creazione della prima bomba atomica russa. Nel febbraio del 1949 nel poligono di Semipalatinsk (nell'attuale Kazakistan) avvenne la prima esplosione nucleare sovietica, che venne denominata in codice (negli Stati Uniti) "First Lightning".

A Mayak, così come in molti altri siti nucleari militari nel mondo, i provvedimenti per limitare l'inquinamento radioattivo dell'ambiente furono colpevolmente carenti [45,46], ed i territori intorno al sito furono seriamente contaminati dalla radioattività. Addirittura, nei primi anni di attività di Mayak, ci fu un deliberato rilascio di ingenti quantità di materiali radioattivi nell'ambiente [47]. Ci furono anche due incidenti accompagnati da un ampio rilascio ambientale di radiazioni: l'incidente di Kyshtym del 1957 [48] e un altro incidente con dispersione di polvere radioattiva nel 1967.

Durante i primi anni di operatività a Mayak, scorie a bassa contaminazione vennero sistematicamente smaltite scaricandole nel fiume Techa. Le scorie ad alta contaminazione vennero accumulate in alcuni speciali capannoni con delle vasche per l'accumulo e la conservazione delle scorie stesse. Nel gennaio del 1950 furono costruite speciali attrezzature per la decontaminazione delle scorie ad alto livello, ma questi dispositivi non funzionarono come previsto e questo causò un aumento del rilascio di radioattività nel fiume Techa fino a livelli elevatissimi. In aggiunta a questo, per raffreddare le piscine dove le scorie erano conservate prima del trattamento, fu usata direttamente l'acqua del fiume Techa, contaminandola al passaggio. Tutto questo causò un notevolissimo accumulo di radionuclidi nel letto del fiume [49-51]. Finalmente, dopo due anni disastrosi, nell'ottobre del 1951 lo scarico di materiale radioattivo nel fiume Techa fu ridotto in maniera rudimentale: per evitare il futuro dilagare delle radiazioni, la parte a monte del fiume Techa fu chiusa da dighe in modo da formare un invaso artificiale, conosciuto con il nome di "Nuovo lago Karachai". I rilasci continuarono tuttavia nel lago in tutti gli anni successivi, fino ad arrivare ad un valore totale di radioattività rilasciata pari a 20.000 PBq, cioè oltre 10 volte il rilascio da Chernobyl (che fu di 1850 PBq, ovvero, in vecchie unità di misura, 50 milioni di Curie). La radioattività presente oggi nel lago Karachai è circa 4.400 PBq, cioè circa 2,5 volte il rilascio totale da Chernobyl.

L'incidente di Kyshtym avvenne il 29 Settembre 1957; un serbatoio contenente scorie liquide altamente radioattive esplose a causa del surriscaldamento provocato

dalla rottura del sistema di raffreddamento. Il serbatoio conteneva all'incirca 70.000-80.000 kg di scorie ad elevata attività, principalmente nitrati composti. Circa il 90% del materiale contaminato del serbatoio (700 PBq) fu depositato nelle vicinanze del sito, ma circa 70 PBq formarono una nuvola radioattiva che raggiunse un'altezza di circa 1 Km: trascinata dal vento, contaminò un'area pari a circa 15.000-20.000 Km². Circa il 5% di questo territorio fu contaminato con una densità maggiore di 70 GBq/Km². Il rilascio totale è stato quindi pari a circa il 40% di Chernobyl [45,46,48].

Un altro incidente, che potrebbe ripetersi ogni anno, avvenne nel 1967; quell'anno le precipitazioni nevose durante l'inverno furono molto scarse, mentre la primavera e l'estate furono molto calde e secche. La mancanza di apporto dallo scioglimento delle nevi e l'evaporazione ridussero drasticamente il livello dell'acqua del lago Karachai, e la polvere radioattiva giacente sul fondo del lago in secca venne a contatto con l'aria, si seccò e fu diffusa in tutto il territorio circostante. Circa 1800 Km² furono contaminati con un livello pari a 1-10 GBq/Km² e la contaminazione arrivò a 50-70 km dal sito di Mayak [45,46].

Il fiume Techa è l'unica risorsa idrica per i 24 villaggi che si affacciano lungo il fiume; inquinandolo come è avvenuto, si sono esposte alla contaminazione radioattiva più di centomila abitanti della zona. Il Techa è un affluente del fiume Iset, e le sue acque giungono fino al mare di Kara, nel mar Glaciale Artico, attraverso il fiume Ob. La lunghezza del fiume Techa è pari a circa 240 km. Escludendo un villaggio immediatamente a valle dei rilasci (villaggio di Metlino), le quattro cittadine più popolate e più esposte alle radiazioni non sono state mai evacuate: migliaia e migliaia di persone vi risiedono tuttora. Nel 1951, la radioattività del fiume Techa raggiunse l'oceano Artico, sebbene il 99% del materiale radioattivo si fosse depositato nei primi 35 km dalla centrale di Mayak. Questa scoperta portò ad un cambiamento nella politica della discarica del materiale radioattivo. Fu perciò proibito l'uso dell'acqua del fiume e dei suoi affluenti per uso civile (irriguo e potabile) e alcuni abitanti furono evacuati da quelle zone. Furono costruite dighe in modo da evitare che la radioattività fosse sparsa dalle zone più contaminate, e gli scarichi dell'impianto furono rilasciati sempre più nel lago Karachai, senza sbocchi diretti nell'oceano, piuttosto che nel fiume [45].

Attorno al fiume in svariati punti sono site diverse paludi alluvionali con una larghezza che va da 300 m a 2 km; il fondo del fiume è caratterizzato da argilla e torba. La profondità, la larghezza e la portata del fiume variano tra il periodo invernale e

quello primaverile, caratterizzato da forti piogge. La portata del fiume varia tra $2 \text{ m}^3/\text{s}$ e $10 \text{ m}^3/\text{s}$, la larghezza varia tra 3 m e 15 m, la profondità tra 1 e 22 m.

5.2 Calcoli di dose e vittime

Alcuni dettagli tecnici sulla produzione di plutonio a Mayak e gli errori commessi sono reperibili in nota¹⁵. La natura dei rilasci, le evaporazioni nel corso superiore del fiume, i processi di trasporto di ogni radionuclide determinarono le dinamiche e modalità di contaminazione che verranno qui brevemente riassunte. La maggior parte dei radionuclidi a vita breve ed i radionuclidi in forma di particolato decadde o si sedimentarono negli stagni di Koksharov e Metlinsky. Nel resto del fiume i principali

¹⁵ La produzione di plutonio per armi nucleari a Mayak ha richiesto un certo numero di fasi operative. La prima fase si svolgeva nel cosiddetto “Complesso A” dove l’uranio naturale veniva utilizzato in un reattore nucleare moderato a grafite, sul modello di quello della “Pila di Fermi” di Chicago del 1942 e del reattore F-1 dell’Istituto Kurchatov di Mosca, critico per la prima volta il 25.12.1946. Lo scopo del reattore era la fertilizzazione dell’ ^{238}U : con l’assorbimento di neutroni – attraverso un paio di veloci reazioni di decadimento – si genera così Pu^{239} all’interno del combustibile. Dopo l’irradiazione, il combustibile veniva trattato nel “Complesso o Impianto B”, un impianto di riprocessamento del combustibile: mediante attacco con acidi, il combustibile irraggiato passava allo stato liquido e con appositi solventi venivano separati Pu^{239} e l’uranio, lasciando come residuo un liquido fortemente contaminato da prodotti di fissione e transuranici. Il plutonio estratto veniva ulteriormente lavorato chimicamente per produrre plutonio metallico ad alta purezza [45]. Tutte le fasi di questa catena hanno contribuito alla contaminazione del fiume Techa. I reattori del Complesso A avevano un solo semplicissimo circuito di raffreddamento: l’acqua del lago Kyzyltash, circolava direttamente attraverso il nocciolo del reattore e ritornava direttamente nel lago. Come risultato si aveva acqua di raffreddamento contaminata con radionuclidi generati dall’irradiazione del combustibile fissile del reattore. L’acqua contaminata dal Complesso A proveniente dal lago era una, ma non la principale, origine dell’inquinamento del fiume Techa. Durante il processo di estrazione dell’uranio e del plutonio dal combustibile esaurito nel Complesso B si creavano vari tipi di scorie: tra queste, quelle liquide con livelli di radioattività medio-bassi erano gettate direttamente nel fiume Techa. Nel 1949 le scorie con un alto livello di radioattività venivano stoccate in speciali depositi situati nel “Complesso C”. Per ridurre il volume di materiale diretto nei depositi nel 1950 fu creato un impianto per il processo di decontaminazione per le scorie radioattive. Così che nel 1950 una parte delle scorie erano dirette all’impianto di riprocessamento prima di essere gettate direttamente nel fiume, mentre la restante parte continuava ad essere stoccata nel Complesso C. Nel luglio del 1951 si scoprì che questo impianto non lavorava correttamente e che quindi durante questo periodo furono rilasciate enormi quantità di radionuclidi nel fiume. Un’altra fonte di inquinamento era l’acqua di raffreddamento dei depositi del Complesso C, che veniva presa e re-immessa direttamente nel fiume. Perdite nei circuiti di raffreddamento erano causa di rilasci di scorie ad alta radioattività. Questi rilasci incontrollati non furono né rilevati né noti fino al 1951. Durante questo periodo circa la metà dei rilasci nel fiume Techa erano scarichi “voluti”, e l’altra metà erano scarichi incontrollati. La natura e la quantità dei radionuclidi scaricati tra il 1950 ed il 1952 fu stimato nel 1956 e 1959, utilizzando i risultati ed i dati acquisiti da speciali missioni sotto la supervisione dell’istituto di Biofisica di Mosca [52-56]. La provenienza dei dati usati nelle due stime, così come i lavori stessi, furono tuttavia segreti e sono divenuti disponibili solo di recente. I ricercatori russi stimarono che circa 100 PBq (10^{20} Bq) di emettitori β furono rilasciati nel fiume Techa; circa il 98% di questa attività fu rilasciato nel periodo tra il marzo del 1950 ed il novembre del 1951. L’ammontare totale degli emettitori gamma fu il 24% delle emissioni beta, mentre gli emettitori alfa furono meno di 2 TBq . Circa il 70% dell’attività rilasciata era contenuta nelle parti solide del nitrato di sodio ed acetato, sostanze utilizzate in varie fasi dell’estrazione del plutonio. Un altro significativo contributo alla contaminazione fu dato dall’acqua di raffreddamento del reattore che defluiva dal lago Kyzyltash al fiume Techa. Per esempio, durante sette mesi del 1953, le attività rilasciate dal reattore furono cinque volte i rilasci dell’impianto radiochimico. L’acqua del lago Kyzyltash che fluiva nel Techa era dunque contaminata da prodotti di attivazione, quali ad esempio P^{32} , S^{35} , Ca^{45} .

contaminanti furono Cs^{137} e Sr^{90} . La radioattività fu principalmente accumulata nel fondo del fiume: il rapporto tra la concentrazione del fondo e quella dell'acqua varia da 100 a 1000 volte, a seconda della natura del fondo. I terreni alluvionati furono contaminati durante le piogge primaverili ed in particolar modo quelle del 1951. Le case e le terre furono contaminate a causa delle attività delle persone e degli animali agricoli [53-54]. Le misurazioni della contaminazione ambientale iniziarono nell'estate del 1951, quando gli errori nel trattamento delle scorie radioattive divennero evidenti. Nel 1951 il livello di inquinamento dell'acqua dello stagno di Metlinsky eccedeva i livelli normali, rispettivamente di 2000-3000 volte per lo Sr^{90} e di 100 volte per il Cs^{137} . Il rateo di esposizione alle radiazioni salì in alcuni luoghi ad un livello nel quale - in una sola ora - una persona avrebbe potuto accumulare una dose di radiazioni comparabile con la massima dose annuale per un lavoratore esposto alle radiazioni [46,57].

Le misure di protezione per la popolazione furono incredibilmente scarse e carenti. Gli elevati livelli di radiazione nel corso superiore del fiume Techa, tra il 1950 ed il 1952, erano gravemente dannosi per la salute degli abitanti locali, specialmente perché essi usavano il fiume come unica risorsa d'acqua potabile. Dall'autunno del 1951 fu ufficialmente proibito usare il fiume per nuotare, come fonte di acqua potabile e per usi domestici ed agricoli ed iniziò l'evacuazione dei residenti del villaggio di Metlino [49]. Nonostante la riduzione dei rilasci, la concentrazione dei radionuclidi superava ancora i pur elevati livelli ammissibili; per questa ragione una nuova diga fu costruita nel 1956 a valle del villaggio di Metlino. Nonostante ciò non si raggiunse una riduzione significativa della contaminazione. Da quel momento in avanti, la principale forma di inquinamento dell'acqua era dovuta ai rilasci di radionuclidi dai sedimenti sul fondo. Durante questo periodo, una serie di ulteriori restrizioni amministrative furono prese per limitare l'accesso e l'utilizzo delle rive del fiume. Circa 80 km² di terreni lungo le rive del fiume furono proibiti agli usi agricoli, le rive furono recintate con il filo spinato e cartelli di pericolo. Anche l'acqua del fiume Iset fu dichiarata non potabile e ne fu proibito l'uso per la pesca ed il nuoto. Infine, nel 1969 fu effettuato il trasferimento di altri 7500 residenti nella zona contaminata [1, 45]. Tutte queste misure erano soltanto una parte di quelle necessarie e vennero effettuate con grande ritardo rispetto al dovuto.



Figura 5: Il villaggio evacuato di Metlino, lungo il fiume Techa, ora villaggio-fantasma sommerso dalle acque radioattive del lago Karachai.

La ricostruzione delle dosi a cui la popolazione fu sottoposta è stato un compito difficile, con gli scarsi dati a disposizione. Lungo il fiume Techa le persone vennero irradiate internamente ed esternamente. La ricostruzione delle dosi interne – che costituiscono la principale via di esposizione - venne effettuata in maniera precisa soltanto in anni recenti e venne determinata essere principalmente dovuta allo Sr^{90} e al ^{137}Cs [58-63].

I risultati – che vengono qui brevemente riassunti - mostrano come la dose accumulata al midollo osseo rosso dagli abitanti lungo il fiume Techa sia ingente: circa il 60% della popolazione ha accumulato dosi superiori ai 200 mSv, quando il livello massimo permessibile è – per 50 anni di accumulo - di 50 mSv.

Si citano anche alcune misure sperimentali di letteratura: le prime misurazioni di radiazioni iniziarono durante l'estate del 1951 dopo che i rilasci di materiale radioattivo nel Techa erano già iniziate. Nel corso superiore del fiume all'altezza dello stagno di Metlinski a 7 km dal punto di scarico, i livelli di radiazione gamma in aria erano di 5 Roentgen/h. Si trattava in pratica di un livello di esposizione tale da causare – per irraggiamento esterno – una dose equivalente in una sola ora pari al livello massimo ammissibile in un anno per i lavoratori valido fino agli anni '90 (50 mSv), e tale da portare all'insorgenza probabile di effetti immediati da radiazioni (nausea, vomito, astenia, sindrome acuta da radiazioni) per una esposizione della durata di uno-due giorni al massimo.

L'assunzione di dosi così elevate per un tempo prolungato provocò la presenza nei pazienti di sintomi di affaticamento, debolezza, insonnia, mal di testa, emicrania, irritabilità, nausea, riduzione della memoria, dolori allo stomaco, all'intestino ed alle ossa [64]. I sintomi erano principalmente attribuiti alla riduzione dell'emopoiesi (cioè danni alla funzione del midollo osseo di genere elementi figurati del sangue) manifestata da leucopenia (basso numero di globuli bianchi) e trombocitopenia (basso numero di globuli rossi) ovvero sintomi di immunodeficienza, leucemia, ed anemie temporanee. Si individuò così una nuova patologia, la "malattia per esposizione cronica alle radiazioni" (CRS = Chronical Radiation Disease); in seguito si ebbero evidenze di effetti come l'incremento delle leucemie e casi di cancro nelle persone esposte, e possibili malattie genetiche.

Il CRS è un complesso di sintomi ben definito che si sviluppa come risultato di una protratta esposizione dell'organismo a radiazioni che eccedono i livelli singoli o totali massimi consentiti. Normalmente, in ambito nucleare, chiunque è esposto, in un incidente, a dosi superiori al centinaio di mSv è esentato da lavori a contatto con le radiazioni ed evacuato dall'area dell'incidente, ma intorno a Mayak dal 1949 al 1955 questo non fu fatto e molte persone, inclusi i lavoratori al reattore ed all'impianto di estrazione del Pu e gli abitanti dei villaggi lungo le rive del fiume Techa, ricevettero alte dosi per molti anni consecutivi. Il risultato fu una patologia unica a Mayak e sul fiume Techa, fino a quel momento sconosciuta nelle nomenclature delle patologie ufficiali del mondo. I rapporti dei medici inviati sui luoghi tra il '52 ed il '62, inizialmente identificarono 1159 casi di CRS.

La malattia fu diagnosticata nel 65% della popolazione adulta e nel 63% dei bambini del villaggio di Metlino. Inoltre il CRS fu diagnosticato ad una considerevole percentuale pari al 6% dei residenti del corso inferiore del Techa e dei villaggi del fiume Isset.

Per ragioni di segreto militare non c'è nessuna menzione di CRS tra le cartelle cliniche dei pazienti, ed i pazienti stessi non furono informati di tale malattia. Fu usato un nome codificato (ABC) (sindrome di astenia neurovegetativa) o il termine "malattia speciale". Alcune volte veniva indicato solo lo stadio della malattia tipo (stadio 1). Questi dati contraddicono in qualche modo le definizioni della ICRP "International Commission on Radiological Protection" riguardo l'esposizione cronica alle radiazioni. Le pubblicazioni del ICRP suggeriscono una più alta soglia di valori delle dosi per l'insorgenza di effetti quali la leucopenia [65-66].

Alcuni dei residenti esposti alle radiazioni lungo il fiume Techa non hanno sviluppato il CRS, ma in pochi anni di esposizione hanno manifestato isolate reazioni alle radiazioni, comunemente rappresentate da cambiamenti ematologici, riscontrati da studi sul sangue a livello capillare [69].

I dati disponibili in letteratura sono stati utilizzati per validare un modello messo a punto *ex novo*; i calcoli sono stati effettuati mediante un codice per la stima delle dosi alla popolazione in caso di rilasci acquatici di inquinanti (codice GENII) [70]. Il modello ha fornito risultati consistenti con i valori misurati ed ha quindi consentito, in una seconda fase dello studio, di approfondire alcuni dei meccanismi di contaminazione e di assunzione di dose da parte delle persone esposte [44].

Attraverso l'utilizzo del codice GENII è possibile stimare la dose individuale alla quale sono sottoposti gli abitanti dei villaggi sulle rive del fiume Techa, ed in particolare per gli abitanti del villaggio di Metlino, identificati come gruppo critico.

Per questo genere di calcolo considereremo uno scenario di rilascio cronico, direttamente in fiume, ad una distanza di 7 Km tra il punto di rilascio ed il primo centro abitato, il villaggio di Mitlino. Il fiume è stato considerato con una portata media di 6 m³/s, una profondità media di 1,5 m, una larghezza media di 9 m. Questi dati ed altri necessari al funzionamento del codice sono stati tratti dai valori medi riportati in letteratura, ed in particolare dagli studi sulla morfologia del bacino del fiume Techa. Il codice permette di rappresentare l'esposizione del gruppo critico in maniera efficace e i suoi risultati sono coerenti con le rilevazioni sperimentali, ed i calcoli su di esse basati, reperibili in letteratura.

I risultati complessivi del modello messo a punto in questo lavoro assommano a una dose equivalente efficace agli individui del gruppo critico intorno a circa 5000 mSv; di questi, circa 3900 mSv dovuti al periodo peggiore per quanto riguarda i rilasci (dal marzo 1950 al settembre 1951) e 780 mSv dovuti al primo periodo di rilasci (dal 1949 fino al marzo 1950). Questo valore totale è di gran lunga superiore sia ai limiti massimi impegnabili in 50 anni (50 mSv). La dose per esposizione esterna è due ordini di grandezza inferiore a quella interna, e la dose per ingestione è superiore di tre ordini di grandezza a quella dovuta per inalazione. Di conseguenza la via di esposizione più grave è stata quella dell'ingestione di cibo contaminato e di acqua contaminata dal fiume e dal lago.

Dai risultati dei calcoli si possono trarre alcune conclusioni principali, che verranno qui di seguito riportate:

- Tra le vie di ingestione, la via principale per l'accumulo di dose è in assoluto il consumo di pesce. Questo mette in evidenza come i provvedimenti di evacuazione della popolazione del villaggio di Metlino (spostati soltanto più a valle lungo lo stesso fiume) siano stati inefficaci ai fini di ridurre l'esposizione: sarebbe stato – e tuttora è – necessario relocare la popolazione al di fuori del bacino del fiume, che andrebbe totalmente sgomberato.
- Gli organi bersaglio sono le ossa, sia nella loro superficie esterna che nel midollo rosso, fatto giustificato dalla tendenza dello Sr^{90} a sostituirsi al calcio durante la fase di sviluppo osseo [71].
- L'esposizione preponderante dell'apparato osseo, e di conseguenza di quello emopoietico (midollo osseo rosso) è coerente con i risultati rilevati dall'indagine sul campo, che mette in evidenza una notevole maggior insorgenza di patologie tumorali liquide (leucemie) nella popolazione più esposta. Quest'organo critico giustifica anche la presenza di molte patologie di disturbo allo sviluppo riscontrate nei bambini e giovani della zona.
- Si tratta di esposizioni che, se assunte in maniera acuta, porterebbero alla sicura insorgenza di effetti immediati. Una esposizione cronica così elevata giustifica sicuramente l'insorgenza della CRS (Sindrome da irraggiamento cronico) in buona parte della popolazione più esposta.

Una stima della frequenza di insorgenza di patologie tumorali aspecifiche può essere effettuata anche – sebbene con poco dettaglio – utilizzando i risultati del codice GENII. In particolare, restringendo l'analisi a titolo di esempio ai 1270 abitanti del villaggio di Metlino, una esposizione del tipo di quella calcolata porta quella ristretta popolazione ad un impegno di dose collettiva pari a oltre 6000 Svpersona. Applicando a questo dato i coefficienti di rischio di maggior insorgenza di tumori radioindotti (secondo le raccomandazioni del ICRP) si ottiene una cifra pari a circa 350-400 ammalati di tumore in più rispetto al rateo naturale di insorgenza, ovvero a circa il raddoppio del peso delle patologie tumorali rispetto alle normali cause di morte.

Se ora passiamo dal villaggio di Metlino all'intera popolazione, le stime si fanno più difficili. Tuttavia, possiamo considerare che, come risultato del deliberato o accidentale rilascio di materiale radioattivo nell'ambiente circostante, circa 272.000 persone nell'intorno del sito di Mayak, del fiume Techa e del lago Karachai sono state esposte ad alti livelli di radiazioni. Le risorse idriche per 124.000 persone sono state

contaminate con isotopi radioattivi di elevata tossicità (come plutonio, stronzio-90 e cesio-137). Nel 1992, l'Istituto di Biofisica del Ministero della Salute in Russia ha compilato un rapporto nel quale ha dichiarato che 28.000 persone sono "severamente irradiate" dagli scarichi di Mayak; si stima che circa 8000 persone sono morte in conseguenza dell'esposizione alle radiazioni e circa 1000 soffrono di malattie croniche dovute alle radiazioni. Fra gli abitanti della zona, si è verificato un aumento del 78% di malati di leucemia e un aumento di persone che muoiono di tumore - in particolare, cancro del sistema digestivo, pelle, ossa, polmoni [46,71].

In conclusione, la regione di Chelyabinsk, con 32 milioni di abitanti, vede oltre 1 milione e mezzo di abitanti colpiti dalle radiazioni. Per i più esposti di costoro, comunque, il rimedio principale permarrebbe l'evacuazione ed un netto miglioramento della dieta.

Si tratta, in definitiva, del più grave disastro nucleare nell'intera storia dell'umanità, con conseguenze anche maggiori rispetto all'evento di Chernobyl; questo lavoro ha voluto contribuire a metterlo in evidenza.

Questo è particolarmente importante in quanto ancora oggi, anche se molti dei reattori di produzione presenti a Mayak non sono più operativi, Mayak rimane ancora un centro per riprocessare le scorie provenienti da centrali, da reattori di ricerca, e dalla flotta atomica russa. Il plutonio è separato dal combustibile nucleare spento. Inoltre, Mayak possiede un impianto per il trattamento delle scorie radioattive con immagazzinamento provvisorio e strutture per la produzione di combustibile di Ossido Misto e per la vetrificazione di scorie liquide radioattive.

6. Conclusioni

L'analisi che si è voluta tracciare in questo lavoro è incompleta ma simbolica. Ad esempio, l'esistenza di altre città chiuse come Mayak nell'URSS, nonché le vittime dei test atomici sovietici negli anni '50 nell'attuale territorio del Kazakistan, imporrebbero altre decine di pagine come quelle appena scritte.

Ci sia consentita però la facoltà di fermarci qui e di fare un'unica riflessione, fra le tantissime che sarebbero necessarie e che si lasciano al lettore.

Viene spesso sostenuto pubblicamente che le tecnologie militari hanno ricadute sul civile e quindi possono essere considerate con occhio benevolo. Questo articolo dimostra come chi sostenga questa tesi ha una qualche ragione: le ricadute dei test

militari di bombe atomiche – sotto forma di fallout o di inquinamento di fiumi, laghi, oceani e di tutta la Terra – hanno avuto sicuramente effetti sui civili. Per capire se e quanto questi effetti siano stati “benefici”, si preferisce lasciar parlare le cifre sulle vittime riportate in questo articolo.

7. Riferimenti

- [1] Marvin Goldman, *The Russian Radiation Legacy: Its Integrated Impact and Lessons*, Environmental Health Perspectives 105, Supplement 6, December 1997. L'articolo è disponibile al sito internet: <http://ehp.niehs.nih.gov/members/1997/Suppl-6/goldman-full.html>
- [2] M. Zucchetti (a cura di), *Il Male invisibile sempre più visibile. La presenza militare come tumore sociale che genera tumori reali*, Odradek, Roma, 2004. Si veda in particolare l'articolo di Angelo Baracca, pp. 191-206.
- [3] H. Wasserman, N. Solomon, *Killing our own*, A Delta Book, New York, 1982.
- [4] US DoD, *Hiroshima and Nagasaki occupation forces*, Defense Nuclear Agency, Washington D.C., 1980
- [5] US DoD, *Radiation dose reconstruction, US occupation forces Hiroshima and Nagasaki*, Defense Nuclear Agency, Washington D.C., 1981
- [6] J. Schubert, R. Lapp, *Radiation: what it is and how it affects you*, The Viking Press, New York, 1957, p.219.
- [7] Naval Medical Research Institute, Measurement of the residual radiation intensity at the Hiroshima and Nagasaki atomic bomb sites, Report Report NMRI-160A, Bethesda, 1946.
- [8] Washington Post, 13 aprile 1980.
- [9] National Research Council, Institute of Medicine, Committee to Study Feasibility of Epidemiologic Studies, *Adverse Reproductive Outcomes in Families of Atomic Veterans: The Feasibility of Epidemiologic Studies*, National Academic Press, Washington DC, 1995.
- [10] United States Congress House. Committee on Veterans' Affairs. Subcommittee on Oversight and Investigations, *Review of Federal Studies on Health Effects of Low-level Radiation Exposure and Implementation of Public Law 97-72*, U.S. G.P.O, Washington DC, 1983.
- [11] Pension, and Insurance United States. Congress House Committee on Veterans' Affairs. Subcommittee on Compensation, *H.R. 1613--the Atomic Veterans Relief Act of 1985*, U.S. G.P.O., Washington DC, 1985.
- [12] Stephen I Schwartz (ed), *Atomic Audit: The Costs and Consequences of U.S. Nuclear Weapons Since 1940*, Brookings Institution Press, Washington DC, 1998.
- [13] Si veda il sito internet di: US Office of Public Health and Environmental Hazards. Veterans Health and Administration, Atomic Veterans and Radiation-Related Health Issues, <http://www.vethealth.cio.med.va.gov/atomicvets.htm>
- [14] Petizione presentata alla Casa Bianca il 23/9/1979 e agli uffici della Veterans Administration il 24/9/1979, disponibile presso il Committee for US Veterans of Hiroshima and Nagasaki
- [15] Press Release, Committee for US Veterans of Hiroshima and Nagasaki., 18 maggio 1980.
- [16] Ad es. due siti: Atomic Veterans History Project: <http://www.aracnet.com/~pdxavets/> e Atomic Veteran <http://www.angelfire.com/tx/atomicveteran/>
- [17] Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb*, Simon & Schuster, New York, 1986.
- [18] H. York, *The Advisors: Oppenheimer, Teller, and the Superbomb*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1976.
- [19] La notizia apparve ad esempio sulla rivista *Time* del 8.7.1946, a pag. 20.
- [20] D. Bradley, *No place to hide*, Little, Brown, and Co., Boston, 1948.

- [21] M. Uhl and T. Ensign, *GI Guinea Pigs*, Playboy Press, Chicago, 1980.
- [22] M. Zucchetti, *Etica e mito dell'arma segreta: il coinvolgimento dei tecnici, nucleari e non*, *Nuvole* n.25 (2005) 64-74. Città Aperta Edizioni.
- [23] La notizia apparve sulla rivista statunitense *Business Week* del 29.3.1947, a pag.22.
- [24] U.S. News and World Report, 10.2.1950, Washington DC, pag. 11.
- [25] La notizia apparve ad esempio sulla rivista *Life* del 25.6.1951, pag.28-29.
- [26] US Atomic Energy Commission, *Thermonuclear Research at the University of California Radiation Laboratory*, Director of Military Application, Report AEC 425/20, Washington DC, 13.6.1952.
- [27] H. York, *The Advisors: Oppenheimer, Teller, and the Superbomb*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1976.
- [28] G. Johnson, *Micronesia: America's Strategic Trust*, Bulletin of the Atomic Scientists, Feb. 1979, p.11.
- [29] Intervista a Veterani apparsa sul quotidiano statunitense *Arizona Daily Star* del 13.4.1980.
- [30] Micronesia Support Committee, *Marshall Islands: A Chronology – 1944-1978*, Honolulu, 1212 University Ave, Honolulu HI 98626, 1980.
- [31] Notizia del quotidiano *United States News* del 1.2.1946, pag. 26.
- [32] R.E. Lapp, *The Voyage of the Lucky Dragon*, Harper & Brothers, New York, 1958.
- [33] Atomic Energy Commission, *Location of Proving Ground for Atomic Weapons*, AEC Memo 141/7, 13.12.1950.
- [34] US Government, Announced US Nuclear Tests, *Joint Force Seven, Report WT-933: Cloud Photography*, Washington DC, 27.1.1958.
- [35] H.Wasserman, N. Solomon, *Killing our own*, A Delta Book, New York, 1982. Inchieste ed interviste sui test atomici in riferimento si ebbero sui quotidiani locali, come *The Tribune (di Salt Lake City)* del 21.11.1978, 17.5.1980, 13.8.1980 e *Color Country Spectrum (Utah)* del 22.12.1978
- [36] Atomic Energy Commission “*Meeting: Discussion of Radiological Hazards Associated with a Continental Test Site for Atomic Bombs*”, Atti del Convegno, Los Alamos, New Mexico, 1.8.1950.
- [37] J.Willis and S.Landau, *Paul Jacobs and the Nuclear Gang* (New York: New Time Films, 1979), transcript, pag. 1.
- [38] U.S. Congress, House Committee on Interstate and Foreign Commerce, Subcommittee on Oversight and Investigations, *The Forgotten Guinea Pigs*, 96th Cong., 2nd sess., Committee Print 96-1FC 53, August 1980, p. 37.
- [39] L. Rosenberg, *Atomic Soldiers*, Beacon Press, Boston, 1980.
- [40] Lettera del USAF Brigadier General A. R. Luedecke al Direttore dell'Atomic Energy Commission, AEC Division of Military Application, March 7, 1952.
- [41] Shields Warren, M.D., “*Draft Staff Paper on Troop Participation in Operation Tumbler-Snapper*,” Atomic Energy Commission, AEC memo, March 25, 1952.
- [42] *Atomic Veterans' Newsletter*, spring 1980, p. 3.
- [43] Notizie apparvero sui quotidiani locali, come ad esempio i seguenti. *Washington County News (Utah)*, May 21, 1953. e *The Tribune (Salt Lake City)*, May 21, 1953.
- [44] C. Crida, Tesi di Laurea in Ingegneria Energetica, Politecnico di Torino, settembre 2005.
- [45] D. Burmistrov, M. Kossenko and R. Wilson, *Radioactive Contamination of the Techa River and its Effects*, Harvard University, Cambridge, MA (US). Rapporto TTS 9906-543
- [46] A. Mazzia, *Modelli Matematici applicati al lago più contaminato del pianeta*, Dipartimento di Metodi e Modelli Matematici per le Scienze Applicate, Università di Padova. Seminario presso il Dipartimento di Informatica dell'Università di Venezia, 27 marzo 2003. Il seminario riferisce del più ampio progetto RACOS, si veda ad esempio: G. Gambolati (coordinator), *RACOS, Radionuclide and Contamination of Soil and Groundwater at the Lake Karachai Waste Disposal Site (Russia) and the Chernobyl Accident Site (Ukraine): field analysis and modeling study. Final Scientific Report*, Padova (Italy), June 2001
- [47] D.S. Burmistrov, M.I. Vorobiova, M.O. Degteva, I. Linkov, R. Wilson, *Radioactive Contamination of the Techa River: Environmental Records and Multimedia Modelling*, Conference Proceedings Vol. 59 "Nuclear Data for Science and Technology" (part II) : 1376-

1380 (Bologna: Societa Italiana di Fisica, 1997).

[48] J.R.Trabalka, L.D.Eyman, F.L.Packer et al., *Another Perspective on the 1958 Soviet Nuclear Accident*, Nuclear Safety, 20: (no. 2): 206-210 (1979)

[49] Joint Norwegian-Russian Expert Group for Radioactive Contamination in the Northern Areas, *Sources Contributing to Radioactive Contamination of the Techa River and Areas Surrounding the Mayak Production Association, Urals, Russia* (October 1997).

[50] M.I. Vorobiova, M.O. Degteva, D.S. Burmistrov, N.G. Safronova, V.P. Kozheurov, L.R. Anspaugh, B. A. Napier, *Review of Historical Monitoring Data on Techa River Contamination*, Health Physics 76 (6) : 605-618 (1999)

[51] M.I. Vorobiova, M.O. Degteva, *Simple Model of Radionuclide Transport in the Techa River Contaminated by the Mayak Releases*, Health Physics, 77 (2): 142-149 (1999)

[52] M.O. Degteva, V.P. Kozheurov, M.I. Vorobiova, *General Approach to Dose Reconstruction in the Population Exposed as a Result of the Release of Radioactive Wastes into the Techa River*, Sci. Total Environ, 142: 49-62 (1994).

[53] M.O. Degteva, V.P. Kozheurov, D.S. Burmistrov, M.I. Vorobiova, V.V. Valchuk, N.G. Bougrov, E.A. Shishkina, *An Approach to Dose Reconstruction for the Urals Population*, Health Physics, 71(1): 71-76 (1996).

[54] A.A. Romanyukha, E.A. Ignatiev, M.O. Degteva, V.P. Kozheurov, A. Wieser, P. Jacob, *Radiation Doses from Ural Region Nature*, 381: 199-200 (1996).

[55] A.A. Romanyukha, M.O. Degteva, V.P. Kozheurov, A. Wieser, P. Jacob, M.I. Vorobiova, E.A. Ignatiev, E.A. Shishkina, A.A. Koshta, *Retrospective Evaluation of External Component of Individual Doses for Techa Riverside*, IRPA9: 1996 International Congress on Radiation Protection. Vienna, Austria, April 14-19, vol.3: 111-113 (1996).

[56] M.O. Degteva, V.P. Kozheurov, E.I. Tolstykh, *Retrospective Dosimetry Related to Chronic Environmental Exposure*, Rad. Prot. Dosimetry, 79: 155B160 (1998).

[57] N.G. Bougrov, H.Y. Goksu, E. Haskell, M.O. Degteva, R. Meckbach, P. Jacob, *Issues in the Reconstruction of Environmental Doses on the Basis of Thermoluminescence Measurements in the Techa Riverside*, Health Physics, 75: 1-10 (1998).

[58] A. Wieser, A.A. Romanyukha, K. Bunzl, W. Kracke, M.O. Degteva, V.P. Kozheurov, *The Absorbed Dose in Tooth Enamel by Sr-90 Body Burden*, IRPA9: 1996 International Congress on Radiation Protection. Vienna, Austria, April 14-19, vol.1: 425-435 (1996).

[59] V.P. Kozheurov, *SICH-9.1- A Unique Whole-body Counting System for Measuring 90Sr via Bremsstrahlung: the Main Results from a Long-term Investigation of the Techa River Population*, Sci. Total Environ, 142(1-2): 37-48 (1994).

[60] M.O. Degteva, V.P. Kozheurov, *Age-dependent Model for Strontium Retention in Human Bone*, Rad. Prot. Dosimetry, 53: 229-234 (1994).

[61] V.P. Kozheurov, M.O. Degteva, *Dietary Intake Evaluation and Dosimetric Modelling for the Techa River Residents Based on in vivo Measurements of Strontium-90 in Teeth and Skeleton*, Sci. Total Environ., 142: 63-72 (1994).

[62] E.I. Tolstykh, V.P. Kozheurov, O.V. Vyushkova, M.O. Degteva, *Analysis of Strontium Metabolism in Humans on the Basis of the Techa River Data*, Radiat. Environ. Biophys., 36: 25-29 (1997).

[63] E.I. Tostykh, M.O. Degteva, V.P. Kozheurov, D.S. Burmistrov, *Strontium Transfer from Maternal Skeleton to the Fetus Estimated on the Basis of the Techa River Data*, Rad. Prot. Dosimetry, 79: 307310 (1998).

[64] M.M.Kossenko, M.O.Degteva, *Cancer mortality and risk evaluation for the Techa river population*, Sci Total Environ. 142:73-89 (1994).

[65] ICRP (International Commission on Radiological Protection), *Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides:Part 2: Ingestion Dose Coefficients*, Annals of the ICRP, v. 23, no. 3/4, ICRP Publication 67, Oxford, Pergamon Press (1993)

[66] ICRP (International Commission on Radiological Protection), *Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Irradiation*, Annals of the ICRP, v. 26, no. 3/4, ICRP Publication 74, Oxford, Pergamon Press (1995).

[67] ICRP (International Commission on Radiological Protection), *Nonstochastic Effects of Ionizing Radiation*, ICRP Publication 41, Oxford, Pergamon Press (1984).

- [68] Y.Shimizu, H.Kato, W.J.Schull, D.L.Preston, Sh.Fujita,D.A.Pierce, *Studies of the mortality of A-bomb survivors 9. Mortality, Part I: Comparison of risk coefficient for site specific cancer mortality based on the DS86 and T65DR shielded kerma and organ doses*, Rad Res 118:502-524(1989).
- [69] M.M. Kossenko, M.O. Degteva, O.V. Vyushkova, D.L. Preston, K. Mabuchi, V.P. Kozheurov, *Issues in the Comparison of Risk Estimates for the Population in the Techa River Region and Atomic Bomb Survivors*, Rad. Res., 148: 54B80 (1997).
- [70] B.Napier et al., *GENII, The Hanford Environmental Radiation Dosimetry Software System*, PNL-6584, Pacific Northwest Laboratories, USA, 1990
- [71] M.M.Kossenko, P.I.Izhevsky, M.O.Degteva, A.V.Akleyev, O.V.Vyushkova, *Pregnancy outcome and early health status of children born to the Techa River population*, SciTotal Environ. 142:91-100(1994).