n.
serie

19

problemi del disarmo

EFFETTI DELLE ARMI NUCLEARI

RAPPORTO DI ESPERTI AL SEGRETARIO GENERALE DELL'ONU

DOCUMENTI E DISCUSSIONI

iai documentazioni
a cura della segreteria generale dell'istituto affari internazionali

EFFETTI DELLE ARMI NUCLEARI

RAPPORTO DI ESPERTI AL SEGRETARIO GENERALE DELL'ONU

DOCUMENTI E DISCUSSIONI

INDICE GENERALE

Prefazione pag. IV

Capitolo I
EFFETTI DELL'EVENTUALE IMPIEGO DI ARMI NUCLEARI " 1

Introduzione " 2

I. HIROSHIMA E NAGASAKI " 4

1. Effetti sulle persone e sulle cose delle esplosioni " 4

2. Effetti a lungo termine delle radiazioni " 7

II. IL SIGNIFICATO DEL POSSIBILE USO DI ARMI NUCLEARI IN GUERRE FUTURE " 10

1. Effetti delle esplosioni al suolo su città - tipo " 10

2. Contaminazione radioattiva " 17

3. Effetti di un attacco nucleare diretto contro una regione o un paese " 19

4. Effetti dell'impiego di armi nucleari in una guerra tattica " 23

5. Attacchi di interdizione " 28

6. Deterrenza o guerra " 29

III. EFFETTI GENETICI DELLE ESPLOSIONI NUCLEARI " 32

1. Considerazioni generali " 32

Capitolo II
CARATTERISTICHE GENERALI DELLE ESPLOSIONI NUCLEARI " 36

Introduzione " 37

I. ESPLOSIONI NELL'ATMOSFERA " 38

1. Effetti fisici e clinici " 38

2. Radiazioni nucleari iniziali pag. 45

3. Radiazioni nucleari secondarie " 49

II. ESPLOSIONI SUBACQUEE " 55

1. Effetti fisici " 55

Capitolo III
RIFLESSI ECONOMICI DELL'ACQUISIZIONE E DELLO SVILUPPO DI ARMI NUCLEARI " 57

Introduzione " 58

I. COSTO DELLE ARMI NUCLEARI PROPRIAMENTE DETTE " 61

1. I materiali fissili " 61

2. Uranio-235 " 61

3. Plutonio-239 " 63

4. Progettazione e fabbricazione " 69

5. Sperimentazione " 71

II. COSTO DEI VARI TIPI DI PROGRAMMI PER LA PRODUZIONE DI ARMI NUCLEARI " 76

1. Programma per la produzione di testate nucleari al plutonio " 76

2. Programma di produzione comprendente testate termonucleari " 78

III. COSTO DEI MEZZI DI LANCIO E DEI VETTORI " 79

1. Considerazioni generali " 79

2. Costo di sistemi di lancio semplici " 82

3. Costo di sistemi di lancio medi " 85

4. Costo di un sistema di lancio avanzato " 87

5. Ricapitolazione dei dati relativi ai costi d'acquisto e di esercizio dei veicoli di lancio e dei vettori pag. 89

IV. UN ESEMPIO DI "ESCALATION" DEI COSTI E DELLE CONTROMISURE " 91

1. Costi dei sistemi di lancio USA " 91

2. Contromisure " 93

V. RICAPITOLAZIONE DEI COSTI DI ACQUISTO " 94

1. Capacità nucleare limitata " 94

2. Forza nucleare avanzata di piccole dimensioni " 95

VI. APPRONTAMENTO DELLE RISORSE " 97

1. Considerazioni generali " 97

VII. IMPLICAZIONI ECONOMICHE " 100

1. Dati statistici " 100

Capitolo IV
CONSEGUENZE SULLA SICUREZZA DELL'ACQUISIZIONE E DELLO SVILUPPO DI ARMI NUCLEARI " 104

Introduzione " 105

I. STORIA DELLE ARMI NUCLEARI " 106

II. PROSPETTIVE ATTUALI " 109

III. LA QUESTIONE DELLE ARMI TATTICHE " 113

IV. LE ARMI NUCLEARI NEL CONTESTO POLITICO " 115

V. CONCLUSIONI " 118

INDICE DELLE FIGURE " 121
INDICE DELLE TAVOLE " 123

PREFAZIONE

Il pregio di questo rapporto dell'ONU sta nella completezza e nel realismo con cui vengono trattati i problemi che nascono da queste armi di distruzione massiccia.

Certamente non difettano pubblicazioni di esperti in cui si tratta o un particolare aspetto, o si tenta di dare una visione d'insieme degli effetti politici, militari, economici e strategici delle armi nucleari. Tuttavia nella maggior parte di tali pubblicazioni si incontrano spesso posizioni manicheiste decisamente controproducenti, o talvolta esposizione molto ingenue dei fatti, che non permettono di ricavare un quadro completo e realistico.

La presentazione da parte della Sezione Disarmo dell'IAI di questo rapporto, in cui la serenità di giudizio e l'attendibilità delle valutazioni sono garantite dal modo e dal luogo in cui si è sviluppato, vuole essere un contributo a una effettiva comprensione e a una reale presa di coscienza dei problemi posti dalle armi nucleari, e vuole completare quel discorso informativo che la Sezione aveva iniziato con un ciclo di lezioni su "Le armi nucleari e la politica del disarmo" (1) tenute all'Università di Roma nel dicembre 1966.

L'origine di questo rapporto è da ricercarsi nella risoluzione 2162-A (XXI) dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, in data 5 dicembre 1966, nella quale si richiedeva al Segretario Generale di preparare con l'aiuto di esperti qualificati un "Rapporto sugli effetti derivanti dall'eventuale impiego di armi nucleari e sulle conseguenze che la loro acquisizione ed ulteriore sviluppo potrebbero avere per la sicurezza e l'economia degli Stati".

---

(1) - Successivamente pubblicate dall'IAI nella collana: IAI - DOCUMENTAZIONI N. 5 Serie "Problemi del disarmo".

Si è così costituita una commissione composta dai seguenti esperti :

Wilhelm Billing	Presidente del Consiglio Nazionale per l'Uso Pacifico dell'Energia Atomica (Polonia).
Alfonso Léon de Garay	Direttore del Programma di Genetica e Radiobiologia della Commissione Nazionale dell'Energia Nucleare (Messico).
Vasily S. Emelyanov	Presidente della Commissione sui Problemi Scientifici del Disarmo presso l'Accademia delle Scienze dell'URSS.
Martin Fehrm	Direttore Generale dell'Istituto di Ricerca sulla Difesa Nazionale (Svezia).
Bertrand Goldschmidt	Direttore delle Relazioni Estere e della Pianificazione della Commissione per l'Energia Atomica (Francia).
W. Bennet Lewis	Vice-presidente anziano della Società Canadese per l'Energia Atomica.
Takashi Mukaibo	Professore presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Tokio (Giappone).
H. M. A. Onitiri	Direttore dell'Istituto Nigeriano di Ricerche Sociali ed Economiche, Università di Ibadan (Nigeria).

John G. Palfrey	Professore di Diritto presso la Columbia University, New York (USA).
Gunnar Randers	Direttore Amministrativo dell'Istituto Norvegese dell'Energia Atomica.
Vikram A. Sarabhai	Presidente della Commissione Indiana per l'Energia Atomica.
Sir Solly Zuckerman	Consigliere Capo per le Scienze del Governo di Sua Maestà (Gran Bretagna).

Ognuno di questi esperti ha preparato un rapporto secondo la propria competenza ed in successive riunioni, tenute a Ginevra ed a New York fra il marzo e l'ottobre del 1967, si è giunti ad una formulazione definitiva su cui tutti si sono trovati unanimi.

Se si considera, come è detto nella lettera di presentazione del Segretario Generale U Thant, che nella stesura del rapporto non si sono potuti evitare dissensi e controversie, l'unanimità raggiunta su questo testo dà un significato ancora più profondo ed un valore ancora maggiore alle valutazioni in esso contenute.

Il Rapporto originale si articola in due parti di cui la prima, quella generale, è parzialmente una sintesi della seconda costituita di allegati che trattano in particolare problemi specifici. Per adattarlo alle esigenze del lettore, ed al fine di evitare per quanto possibile tautologie eliminabili - sempre mantenendo una traduzione il più possibile aderente al testo originale e senza togliere nulla allo spirito del Rapporto - gli si è data una struttura il più possibile continua che ne facilita la lettura e la comprensione. Pertanto le considerazioni della prima parte vengono fatte seguire

immediatamente degli allegati corrispondenti della seconda parte.

Inoltre osservando che la parte generale riguardante gli effetti economici dell'acquisizione delle armi nucleari non è altro che una sintesi coincisa dell'Allegato III, in cui si tratta particolareggiatamente ed in modo quanto mai completo e chiaro il problema degli aspetti economici, si è ritenuto possibile eliminare la parte generale, inserendovi al suo posto lo Allegato III stesso, nella convinzione che il Rapporto ne avrebbe guadagnato in chiarezza ed accessibilità.

FRANCO CELLETTI

I.A.I.- Dipartimento Disarmo e Strategia

Aprile 1969

CAPITOLO I

EFFETTI DELL'EVENTUALE IMPIEGO DI ARMI NUCLEARI

Introduzione

La terribile ombra, che getta sul genere umano l'eventualità di una guerra nucleare, rende indispensabile la comprensione chiara e completa dei suoi effetti.

Non basta sapere che le armi nucleari danno una dimensione assolutamente nuova al potere distruttivo dell'uomo. Esistono profonde divergenze nelle valutazioni che sono state fatte sugli effetti delle armi nucleari: si va dalla previsione di una totale distruzione dell'umanità, a conclusioni che pongono la guerra nucleare sullo stesso piano di quella convenzionale, nella convinzione che tra i due tipi esisterebbero solo differenze quantitative ma non qualitative. La situazione non è però così controversa come potrebbero far pensare argomentazioni generali tanto contrastanti. Una considerazione basilare è indiscutibile: negli arsenali nucleari attualmente esistenti si trovano già armi di grande potenza, ognuna delle quali possiede un potere distruttivo più elevato di quello di tutti gli esplosivi convenzionali impiegati in guerra dal giorno in cui fu inventata la polvere da sparo. Se tali armi venissero impiegate su vasta scala, centinaia di milioni di persone rimarrebbero uccise e la civiltà, così come noi la conosciamo, come pure la vita di comunità organizzate, cesserebbero inevitabilmente nei paesi coinvolti dal conflitto. Molti dei sopravvissuti alla distruzione immediata, al pari di altri superstiti in paesi rimasti al di fuori dell'area del conflitto, si troverebbero esposti alla contaminazione radioattiva diffusasi ovunque e subirebbero gli effetti a lungo termine delle radiazioni, trasmettendo ai loro discendenti tare ereditarie dalle quali deriverebbero deficienze organiche per le generazioni successive.

Queste considerazioni generali, siano esse pubblicate a scopo propagandistico o in studi scientifici imparziali, sono state proclamate così spesso e ripetutamente che hanno perduto tutta la propria forza. Ma la loro rispondenza alla realtà è non di meno tale che solo esponendo chiaramente e ac-

curatamente i fatti su cui si basano sarà impossibile non rendersi drammaticamente conto del pericolo nel quale si trova la umanità.

Nella prima parte del presente rapporto si è voluta dare una descrizione del potere distruttivo delle armi nucleari e delle conseguenze del loro impiego, iniziando con un breve resoconto delle distruzioni causate a Hiroshima e Nagasaki dall'esplosione di armi nucleari relativamente piccole ed impiegate isolatamente. Questi due disastri sono gli unici esempi di impiego effettivo di armi nucleari in guerra, e forniscono informazioni dirette sulla natura dei danni provocati da esplosioni nucleari. Sempre nella prima parte sono altresì descritti brevemente alcuni studi teorici sugli effetti fisici di armi nucleari molto più potenti sui centri abitati e sull'economia civile, come pure l'effetto che tali armi avrebbero sui più importanti obiettivi militari. Viene anche esaminata la questione delle conseguenze indirette della cosiddetta guerra tattica nucleare, vale a dire del tipo di combattimento in cui vengono usate armi nucleari nel campo di battaglia. Per ottenere una prospettiva più realistica, la maggior parte di questi studi sono stati riferiti, piuttosto che a ipotetiche zone geografiche, a città, piccole o grandi realmente esistenti; a centri urbani, cioè, con un tipo specifico di servizi pubblici comunicazioni e approvvigionamenti alimentari.

In un grande combattimento con armi nucleari strategiche molte città subirebbero una devastazione simile a quella degli esempi studiati, con un'effetto cumulativo che supererebbe di gran lunga la semplice somma degli effetti di singoli attacchi. Riconoscendo che l'attaccante può sempre essere in vantaggio sul difensore, sia per la sorpresa che per la ampiezza dell'attacco,non è stato fatto alcun tentativo di complicare l'analisi discutendo fino a che punto una difesa antimissilistica, unitamente a misure di difesa civile, potrebbe ridurre il grado del danno e il numero delle vittime. Basterà osservare che non è per il momento prevedibile alcun sistema di difesa attiva tale da poter impedire a tutte le armi nucleari di raggiungere i bersagli prescelti.

I. HIROSHIMA E NAGASAKI

1. Effetti delle esplosioni sulle persone e sulle cose

La prima bomba atomica che sia stata mai usata in guerra aveva una potenza di quasi 20 kilotoni, cioè un potere esplosivo equivalente a quasi 20.000 tonnellate di esplosivo chimico convenzionale (TNT o tritolo). Essa fu fatta esplodere a circa 550 metri di altezza sopra Hiroshima, il 6 agosto del 1945. Il 9 agosto un secondo ordigno atomico, di analoga potenza, fu fatto esplodere, più o meno alla stessa altezza, sopra Nagasaki.

A Hiroshima, la distruzione si è propagata concentricamente a partire dal centro della città, che era estesa uniformemente e contava circa 300.000 abitanti. In meno di due secondi una palla di fuoco, crebbe rapidamente e si trasformò in una nuvola a forma di fungo, come sostenuta da una colonna di fumo nero, e il calore irradiato dalla palla di fuoco causò migliaia di incendi.

Contrariamente ad Hiroshima, Nagasaki era una città più estesa in lunghezza che in larghezza, circondata da colline e aperta verso il mare in una sola direzione con una popolazione di circa 87.000 abitanti, ripartita in un raggio di 3 chilometri dal centro. Gli effetti immediati dell'esplosione sono stati gli stessi, ma la zona di distruzione e di incendi è stata diversa, data la diversa configurazione delle due città. In entrambi i casi il calore dell'esplosione fu talmente intenso che, fino alla distanza di circa 0,5 km dal centro del disastro, la superficie di ceramica delle tegole dei tetti si fuse e l'incendio delle case di legno, per irraggiamento diretto, fu osservato fino a 1,5 km di distanza.

Vi sono diverse stime dei danni di Hiroshima e di Nagaski, ed è stato difficile valutare il numero esatto di perso

ne esposte che sono decedute dopo essere fuggite dalla città. Secondo i dati disponibili ci sono stati circa 78.000 morti e 84.000 feriti a Hiroshima, 27.000 morti e 41.000 feriti a Nagasaki. Inoltre, vi furono migliaia di dispersi in ambedue le città.

La maggior parte dei casi di morte immediata furono dovuti alla violenta distruzione di edifici residenziali e di uffici.

A Hiroshima 60.000 costruzioni sono state completamente o parzialmente distrutte. Le case in legno entro un raggio di 2,5 km furono strappate via, mentre gli edifici in mattoni furono trasformati in mucchi di una ceria. Danni notevoli alle case si verificarono fino a 8 km di distanza. Muri, porte, mattoni, vetri, mobili e altri detriti volteggiavano in aria, schiacciando e danneggiando ogni cosa al loro passaggio. Abbastanza vicino al punto zero (il punto a terra direttamente sotto l'esplosione) gli edifici sono stati letteralmente cancellari, ed a distanze maggiori furono inclinati dallo scoppio.

Non si hanno notizie esatte ed attendibili circa la misura in cui l'onda d'urto, egli incendi e le radiazioni nucleari contribuirono rispettivamente a determinare i decessi verificatisi in questi bombardamenti. Le ustioni costituirono il problema maggiore per l'assistenza medica. Le persone che si trovavano allo scoperto furono gravemente ustionate; si ebbero infatti ustioni da irraggiamento diretto fino a circa 2 km di distanza dall'epicentro della zona colpita. Il giorno seguente il bombardamento, si accertò che circa la metà delle vittime era costituita da persone morte a causa di ustioni.

All'Ospedale Kameyana di Hiroshima, il 53% dei pazienti rimasti ustionati nel raggio di 1 km morirono durante la prima settimana e il 75% morì nel corso delle due prime settimane. Il tasso più elevato di mortalità si verificò durante il quarto giorno. Un altro tasso elevato si ebbe durante la terza e la quarta settimana, quando sopraggiunsero complicazioni, dovute prevalentemente ai danni da radiazione. Venti giorni dopo l'attacco si osservò che fra gli ustionati sopravvissuti la

grande maggioranza (80-90%) soffrivano di ustioni da vampa, dovute all'assorbimento di radiazioni termiche dell'esplosione sulle parti scoperte del corpo; circa il 5-15% aveva riportato ustioni dovute sia a radiazioni termiche che a fiamme vere e proprie; pochissimi (2-3%) erano stati ustionati solo dalle fiamme.

L'esplosione di Hiroshima si trasformò rapidamente in una tempesta di fuoco, la quale durò circa 6 ore e devastò un'area di 12 kmq. Circa 2 o 3 ore dopo l'esplosione, il vento, sollevatosi 20 minuti dopo la deflagrazione, raggiunse una velocità di 50-60 km all'ora, soffiando da ogni direzione verso la città in fiamme. Il 70% delle macchine antincendio furono rese inutilizzabili, e l'80% del personale addetto non potè rispondere allo stato d'emergenza.

La caduta di pressione delle condotte di acqua, dovuta principalmente al crollo degli edifici, contribuì enormemente ad accrescere le distruzioni causate dal fuoco. Ma anche se uomini e attrezzi si fossero salvati dagli effetti immediati dell'esplosione molti incendi sarebbero ugualmente stati inarrestabili entro un raggio di 1,5 km dal punto zero.

Circa 45.000 vittime ad Hiroshima morirono il giorno stesso dell'esplosione e circa 20.000 durante i 4 mesi seguenti in seguito a ferite traumatiche, scottature ed effetti dovuti alle radiazioni.

Non si hanno dati circa il numero dei morti per effetto delle radiazioni indotte, subite durante le operazioni di salvataggio e di soccorso nella città. La maggior parte degli impianti medici a Hiroshima erano situati nella zona devastata della città, e i metodi adottati per curare i feriti furono di conseguenza molto al di sotto del normale. La penuria di rifornimenti, la mancanza di materiale e lo sforzo straordinario richiesto al personale medico decimato hanno aggravato ulteriormente le difficoltà.

Dopo gli immediati problemi di ordine sanitario, il

più grave problema, che si presentava ai sopravvissuti agli effetti diretti dell'esplosione, era costituito dalla mancanza di acqua, case e cibo. Il sistema di distribuzione della corrente elettrica fu seriamente danneggiato, in primo luogo per i danni subiti dalle linee aeree elettriche, e in secondo luogo per quelli subiti da commutatori e trasformatori determinati dal crollo delle strutture nelle quali erano collocati.

Per coloro che non rimasero direttamente colpiti, queste difficoltà accentuarono i gravi effetti psicologici del disastro nel quale si vennero a trovare.

Perfino 20 anni dopo i bombardamenti permane ancora un'eccessiva sensibilità della popolazione di fronte ai pericoli della radioattività, al punto che è difficile ottenere l'assenso per la istallazione di centrali nucleari.

2. Effetti a lungo termine delle radiazioni

Indipendentemente dagli effetti immediati delle radiazioni ionizzanti sulle vittime dirette dell'esplosione, i sopravvissuti furono esposti anche al pericolo degli effetti secondari, consistenti sia in malattie latenti negli individui (effetti somatici), sia in mutamenti dei caratteri ereditari (effetti genetici).

Si sospettava da qualche tempo che l'esposizione ripetuta a dosi moderate di radiazioni nucleari portasse alla leucemia, malattia che è associata ad una eccessiva produzione maligna di globuli bianchi. Uno studio sui superstiti delle 2 esplosioni nucleari di Hiroshima e Nagasaki mostra come tale malattia possa indubbiamente derivare da una singola dose elevata (acuta) di radiazioni. Si osservò che l'incidenza della leucemia nei superstiti di Hiroshima e Nagasaki era aumentata nel 1948 e raggiunse la punta più elevata nel 1950-52. Benchè essa sembri essere un po' diminuita da allora, rimane sempre più e-

levata rispetto alla popolazione del resto del Giappone che non fu esposta alle radiazioni.

L'incidenza della malattia è cresciuta per i sopravvissuti di ogni età una in modo più acuto nei giovani. La frequenza di essa nei superstiti fu 50 volte maggiore per quelli che si erano trovati a meno di 1 km dal punto zero, rispetto a quelli che ne rimasero più lontani, e fu 10 volte più forte per le persone che si trovavano ad 1 - 1,5 km di distanza, relativamente a quelle che si trovavano ad una distanza compresa tra 2 - 10 km dal punto zero.

Lo studio continuo sui superstiti dei due disastri giapponesi ha altresì dimostrato una accresciuta incidenza di altri tipi di tumori maligni, in particolare il cancro della tiroide, che ha un periodo d'incubazione molto più breve. Sembra egualmente, ma per il momento non è ancora provato, che la media di vita sia diminuita nei superstiti delle popolazioni esposte, che si ammalino o no di malattie di natura maligna. Questo effetto dovuto alle radiazioni è confermato anche in laboratorio con esperimenti su cavie.

Gli effetti sono più evidenti per quanto riguarda una percentuale significativamente elevata di bambini nati da donne incinte al momento dell'esplosione, i quali se sopravvissuti al parto, sono nati con la testa più piccola rispetto alla media; alcuni di essi inoltre si sono dimostrati in seguito affetti da un forte ritardo mentale.

E' passato troppo poco tempo dall'epoca delle due esplosioni nucleari, per poter determinare quali mutamenti genetici si siano eventualmente verificati nei superstiti.

In ogni caso, benchè effetti genetici e somatici potrebbero essere conseguenza di radiazioni dovute ad un conflitto nucleare, tali conseguenze sono di maggior interesse solo dove le manifestazioni acute possono essere trascurate, cioè, in zone molto distanti dal bersaglio immediato di una guerra nucleare, oppure nel caso in cui vengano fatte molte esplosioni nucleari nell'atmosfera.

Questi effetti possono insorgere sia in conseguenza delle radiazioni liberate nei primi istanti dopo un'esplosio - ne nucleare, sia in conseguenza di quelle liberate attraverso la successiva ricaduta degli elementi contenuti nella pioggia radioattiva (fall-out) conseguente all'esplosione. A questo proposito, si dovrebbe notare che non vi fu pioggia radioattiva locale di una certa entità nè ad Hiroshima nè a Nagasaki, poichè, in ambo i casi, le esplosioni si verificarono molto in alto nell'atmosfera.

II. IL SIGNIFICATO DEL POSSIBILE USO DI ARMI NUCLEARI IN GUERRE FUTURE

1. Effetti delle esplosioni al suolo su città-tipo

In tutte le guerre, gli eserciti d'invasione hanno sempre cercato di impadronirsi di obiettivi nemici vitali (città, zone industriali, regioni di produzione alimentare ecc.), come pure di controllare i sistemi di comunicazione e di trasporto che li collegano. La guerra aerea ha reso possibile l'attacco e la distruzione di tali bersagli senza che si debba prima sconfiggere gli eserciti difensori. La cancellazione della distinzione fra il "fronte" e le "retrovie" di una zona bellica, sopravvenuta come conseguenza dell'offensiva aerea nella seconda guerra mondiale, è stata ora ulteriormente confermata con l'avvento delle armi nucleari.

Coloro che stabilirono i due bersagli giapponesi per le prime, e uniche, bombe atomiche finora impiegate in guerra, sostenevano che gli ordigni sarebbero stati usati al solo scopo di creare il massimo effetto psicologico e, in tal modo, stroncare definitivamente la volontà del popolo giapponese di continuare a combattere. Alcuni teorici militari, che si occupano della guerra nucleare, parlano di attacchi su città, che hanno luogo contemporaneamente, o anche in anticipo sugli attacchi contro le forze armate e contro bersagli prettamente militari.

Per questo motivo è necessario fare un quadro di ciò che accadrebbe se una grande città venisse attaccata, non con armi di pochi kilotoni, del tipo usato contro le due città del Giappone, ma con le bombe all'idrogeno, o bombe a fusione, attualmente disponibili, la cui potenza è generalmente espressa in megatoni (unità equivalente ad un milione di tonnellate di

esplosivo chimico).

Data la natura delle armi nucleari, non è possibile che tutti i loro diversi effetti distruttivi, immediati o successivi, diano il massimo risultato in una stessa esplosione. Per esempio, le dimensioni della zona colpita dall'esplosione, le radiazioni termiche e le radiazioni nucleari iniziali sarebbero notevolmente più limitate nel caso di un'esplosione a terra che nel caso di una esplosione in aria, a parità di potenza. D'altro canto, un'esplosione a terra sarebbe accompagnata da una pressochè immediata caduta di pioggia radioattiva, molto inferiore invece nel caso di una esplosione in aria. In quest'ultimo caso, l'importanza dell'esplosione e dei suoi vari effetti dipenderebbe dall'altezza della stessa.

Poichè ogni città ha una propria fisionomia, un proprio genere di servizi, di comunicazioni e di riserve alimentari, un quadro realistico di ciò che potrebbe accadere non può essere tracciato senza prendere in considerazione una città reale e analizzare gli effetti zona per zona, tenendo conto delle relative differenze per quanto concerne densità demografica, funzioni, e così via. Uno studio di tal genere è stato fatto su una città avente una popolazione di poco più di 1 milione di abitanti, estesa in tutte le direzioni per circa 8-10 km (quindi con una superficie totale di circa 250 kmq), che si è supposta attaccata con una bomba nucleare da un megatone, esplosa al livello del suolo.

Basandosi sui risultati osservati ad Hiroshima e Nagasaki, ed anche su quelli di esperimenti nucleari accuratamente preparati, si hanno i seguenti dati sulla sorte degli abitanti :

- uccisi dall'esplosione e dagli incendi	270.000
- uccisi dalla pioggia radioattiva	90.000
- feriti (di cui 15.000 nella zona della pioggia radioattiva e perciò esposti ai suoi effetti)	90.000

- incolumi 710.000
  (di cui 115.000 nella zona colpita dalla pioggia radioattiva).

Approssimativamente un terzo circa degli abitanti rimarrebbero dunque uccisi in conseguenza dell'esplosione e degli incendi, nonchè della quantità di radiazioni assorbita nei primi 2 giorni. Si noti che un terzo di milione corrisponde al numero totale di civili uccisi dalle incursioni aeree in Germania e in Giappone, durante l'intero corso della Seconda guerra mondiale.

In pratica tutti gli abitanti della zona centrale della città, una zona di circa 6x5 km, verrebbero uccisi, in gran parte a causa degli effetti dell'esplosione e degli incendi. Chiunque non fosse ucciso sul colpo, mediatamente troverebbe la morte per effetto delle radiazioni nucleari.

All'estremo limite della zona centrale (vedi zona ombreggiante della Figura 1) la percentuale dei morti fra la popolazione non supererebbe il 75%, e diminuirebbe man mano che ci si allontana dal punto zero.

La maggior parte dei 90.000 abitanti che hanno subito ferite non mortali, sarebbero in ogni caso seriamente feriti e, per il 15-20% di essi, le operazioni di salvataggio verrebbero fortemente impedite dalla caduta di pioggia radioattiva.

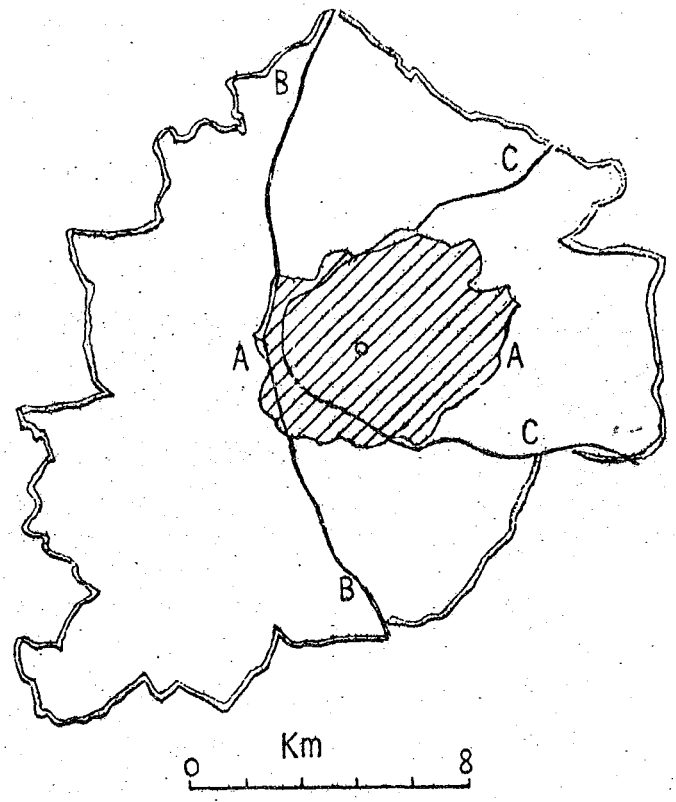
Di quella parte della popolazione, la quale, in questa particolare analisi, non risulta fra le vittime, il 20% resterebbe esposta ai pericoli della pioggia radiattiva, e solo la metà della popolazione totale rimarrebbe incolume e immune dal fall-out (vedi Figura 2).

L'ampiezza delle distruzioni, che accompagnerebbero perdite umane di quest'ordine di grandezza, è tale che non vi è alcuna base di esperienza che possa aiutare a descrivere la

FIGURA 1

V I T T I M E

(nei confini della città)



Distribuzione delle vittime

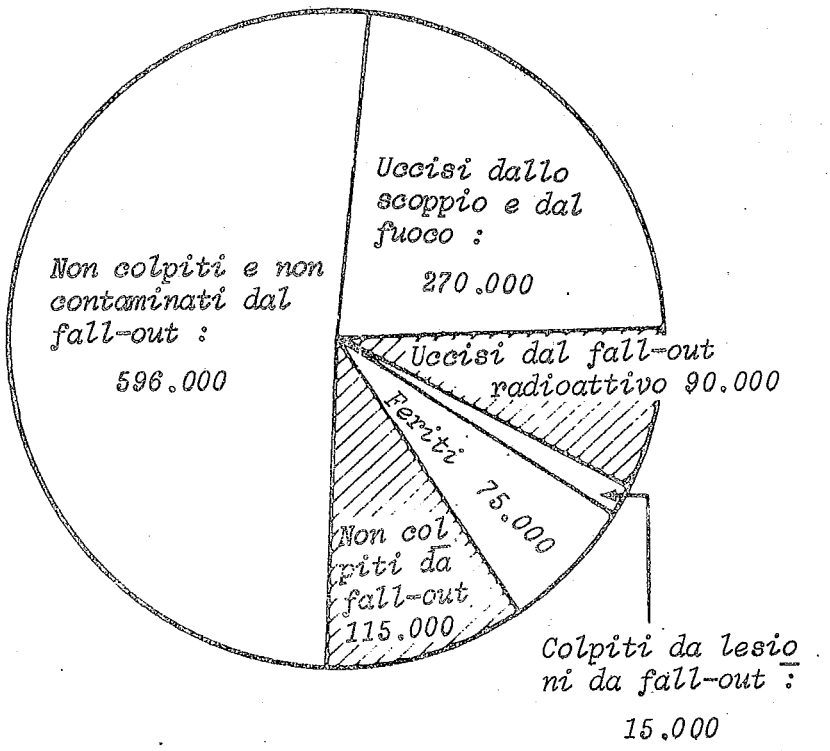
A. Zona centrale di 6x5 km. dove praticamente l'intera popolazione resterebbe uccisa.

B. Linea a 2,5 km. ad ovest del punto zero che segna la zona di fall-out.

C. Zona in cui se una persona restasse allo scoperto assorbirebbe una dose letale di fall-out in 48 ore.

FIGURA 2

Effetti di una bomba da un megatone, esplosa al suolo, su una città di 1.600.000 abitanti



trasformazione istantanea di una vasta e popolata città in un mare di rottami in fiamme. Ogni casa e costruzione sarebbe danneggiata circa un terzo completamente devastato (cioè con danni che vanno dalla più totale e completa distruzione, alla distruzione di più di metà delle mura), un altro terzo sarebbe seriamente danneggiato (cioè inutilizzabile per scopi pratici, ma potrebbe fornire un rifugio temporaneo se niente di meglio fosse disponibile). Soltanto appena un terzo delle costruzioni originarie sarebbero in qualche modo ancora utilizzabili, benchè prive di gran parte del tetto, porte e finestre (vedi Figura 3). In molte zone le condutture principali dell'acqua e del gas, le fogne, i generatori di energia sarebbero distrutti. Non una sola zona conserverebbe i suoi servizi essenziali (vedi Figura 4). Le strade sarebbero cancellate ed anche le zone periferiche leggermente danneggiate sarebbero molto probabilmente prive d'acqua e di cibo. E' del tutto impossibile immaginare la quantità di cose da improvvisare e da riorganizzare, cui dovrebbero provvedere i trasformati sopravvissuti, nel periodo immediatamente seguente l'attacco, anche se fosse stato preparato un piano di emergenza, efficace, basato sulla previsione degli effetti di un possibile attacco.

Questi dati sui morti, feriti, distruzioni e incendi formano l'immagine di una grande città, la cui vita viene completamente distrutta dall'esplosione di una sola bomba da un megatone. Come entità organizzata capace di contribuire allo sforzo bellico, essa cesserebbe di avere importanza. I sopravvissuti nei diversi quartieri o si troverebbero in uno stato di immobilità dovuto allo shock, o vagherebbero alla ricerca di un posto migliore di quello dove essi si sono venuti a trovare al momento dell'esplosione, cercando cibo, rifugio parenti ed aiuti di ogni genere. I problemi che la popolazione dovrebbe risolvere sarebbero immensamente più ardui di qualsiasi precedente esperienza fatta nella seconda guerra mondiale. In un conflitto di tale gravità sarebbe inoltre irrealistico supporre l'attacco contro una sola città. Con più città nello stesso stato disperato non vi potrebbe essere alcuna possibilità di un sostanziale ed efficace aiuto dall'esterno. In conclusione, una grande città del tipo descritto, dove più di un mi-

FIGURA 3

Effetti di una bomba da un megatone esplosa al suolo, sulle costruzioni di una città.

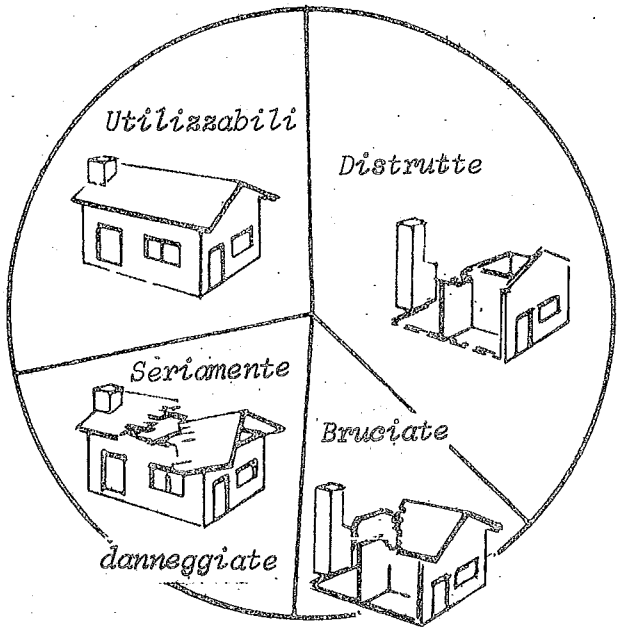
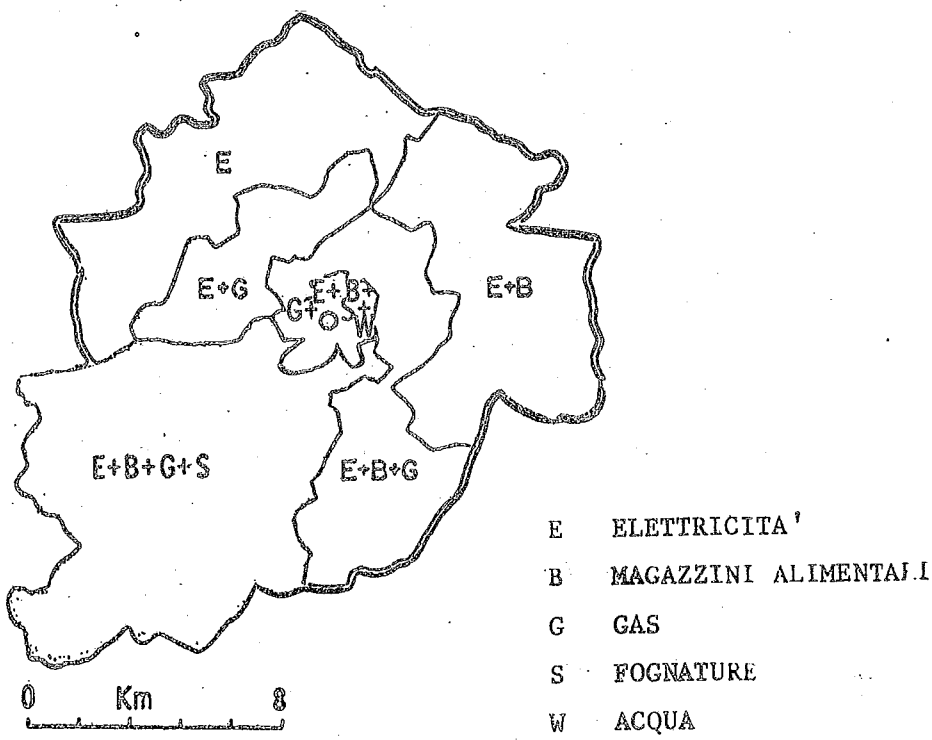


FIGURA 4

SERVIZI DISTRUTTI



lione di persone vivono in una zona di circa 250 kmq cesserebbe, a tutti gli effetti pratici, di esistere, cancellata dalla faccia della terra da un'arma di un solo megatone, esplosa al suolo, nel centro della città stessa. Bombe di un megatone sono di piccola grandezza nel loro genere; alcune armi molto, ma molto più grandi già esistono negli arsenali.

2. Contaminazione radioattiva

Nelle vicinanze del punto dell'esplosione gli effetti letali delle radiazioni sarebbero istantanei; ma l'esplosione di armi nucleari determina anche la formazione di elementi radioattivi che, nel caso di un'esplosione al suolo, si mischiano alle particelle di terra sollevata nella atmosfera. Le particelle di terra e i frammenti dell'esplosione più pesanti cadono al suolo e si posano in vicinanza del punto-zero, dando luogo a pericoli ritardati di radiazioni; è questo il fall-out radioattivo locale. Per un'esplosione al suolo del tipo preso ad esempio, l'area di fall-out intenso può coprire centinaia di chilometri quadrati. All'interno di tale zona, le persone non adeguatamente protette, o non rimaste al coperto fino alla scomparsa della radioattività dovuta al fall-out, sarebbero esposte ad una intensità di radiazioni sufficiente a causare danni molto seri alla salute.

La Figura 5 mostra la quantità di radiazioni nucleari che un individuo assorbirebbe, in rads per ora, in un caso ideale con località e direzione del vento assegnate, in seguito all'esplosione al suolo di un ordigno da un megatone.

Al di là dell'area di intenso fall-out, in una zona molto più estesa, radiazioni di significativa intensità continuerebbe a contaminare l'aria ed il suolo con grave pericolo della popolazione locale. (Per gli effetti clinici delle radiazioni vedi la Tavola IV, Capitolo II).

La descrizione fatta è stata basata, come si è fatto notare, sull'analisi particolareggiata di una città reale, considerando la sua configurazione e la particolare distribuzione della sua popolazione. Se invece si prende in esame il caso generale di una sola esplosione da un megatone all'altezza di circa 3000 m.su una ipotetica città, con una popolazione di un milione di abitanti uniformemente distribuiti in una zona di 20 x 20 km , si possono fare le seguenti valutazioni generali :

a) - In un raggio di circa 3 km dal punto - zero tutte le costruzioni sarebbero distrutte ed il 90% degli individui che abitano in questa zona rimarrebbero colpiti (morti o feriti gravi);

b) - In un raggio compreso fra 3-6 km. si avrebbe una distruzione parziale o completa delle costruzioni; il 50% degli abitanti verrebbero colpiti ed i sopravvissuti dovrebbero essere evacuati;

c) - In un raggio compreso fra 6-9 km vi sarebbero ancora gravi danni alle costruzioni e circa il 35% degli abitanti rimarrebbero colpiti.

Si ritiene che il 40% della popolazione di tale città sarebbe colpita per effetto della sola esplosione e degli incendi, mentre il 60% dell'intera città ne risulterebbe distrutto; inoltre, la radiazione termica potrebbe causare vittime per ustioni e dar luogo ad incendi anche fino a 10-15 km dal punto-zero.

Per un'esplosione di dieci megatoni su tale ipotetica città, la zona completamente o seriamente distrutta avrebbe un'ampiezza di 300-500 kmq, cioè l'area dell'intera città. Inoltre gli effetti dell'esplosione e della radiazione diretta si estenderebbero molto al di là dei suoi confini, con incendi fino a 20 km dal punto-zero. Ci si dovrebbe aspettare che metà dell'intera popolazione, distribuita entro un raggio di circa 25 km muoia entro i primissimi giorni a causa della contamina

zione radioattiva, anche considerando l'esistenza di una certa quantità di rifugi.

Nel caso di un'esplosione in aria di una bomba da venti megatoni, il calore che ne scaturirebbe sarebbe abbastanza intenso da causare, secondo la limpidezza dell'atmosfera, incendi fino a 30 km. dal punto-zero, e potrebbe mettere in pericolo la vita delle persone entro un raggio di quasi 60 km. E' stato calcolato che una simile bomba esplosa sopra Manhattan, in assenza di rifugi e di piani di evacuazione, ucciderebbe probabilmente 6 degli 8 milioni di abitanti di New York, e causerebbe un ulteriore milione di morti oltre i confini della città. L'esplosione in superficie di una bomba di venti megatoni darebbe come risultato la formazione di un cratere di 75-90 m di profondità e 800 m di diametro.

3. Effetti di un attacco nucleare diretto contro una regione o un paese

E' stato fatto uno studio sui probabili risultati di un attacco nucleare contro una ipotetica regione industriale composta di nove città, ciascuna con popolazione superiore ai 50.00 abitanti (qualcuna assai al di sopra) e di altre 140 città più piccole con meno di 50.000 abitanti (di cui il 60% con elementi delle industrie essenziali). Tale studio ha mostrato che, considerando l'esplosione al suolo di una bomba da un megatone in ciascuna delle nove città, una valutazione additiva del numero di morti e feriti darebbe una idea molto inesatta degli effetti globali dell'attacco. Dalle stime risulta che il 20% della popolazione totale, o il 30% della popolazione urbana, o il 35% della popolazione delle principali zone industriali resterebbe uccisa; la distruzione dei fabbricati sarebbe del 30% del totale o del 40% per quelli urbani, o del 50% per quelli occupati dalla popolazione delle zone industriali. Ma le città non sono entità isolate, sono collegate con una varietà di canali funzionali, dipendenti l'una dall'altra per materie prime di tipi differenti, così come per manufatti finiti o se-

mi - finiti. Tenendo conto della interdipendenza degli effetti, lo studio ha dimostrato che la percentuale delle industrie chiave nell'intera regione (cioè industrie d'importanza più che locale) che si verrebbe ad arrestare sarebbe del 70-90%. La percentuale minore (70%) tiene conto di ogni cosa direttamente distrutta o completamente fuori uso nelle città colpite; la percentuale più alta (90%) tiene conto delle zone intorno alle città che sarebbero indirettamente messe fuori uso a causa, per esempio, dell'interruzione delle comunicazioni o dei rifornimenti delle materie prime e degli approvvigionamenti alimentari. Più interdipendenti esse sono, più grande sarà il moltiplicatore di cui si deve tener conto quando si valutano gli effetti cumulativi della distruzione di singole città.

Un altro studio più generale ha considerato un attacco nucleare su un piccolo paese, che si estende per circa 1000 x 500 km, cioè con un'area di 500.000 kmq, ed una densità di popolazione di 100 abitanti per kmq. Si è supposto che una parte del paese sia colpita da 4 armi nucleari da 20 megatoni ciascuna. Un tale attacco inciderebbe su 100.000 kmq, cioè su circa il 20% della estensione totale della zona, grazie all'effetto meccanico, termico ed alla contaminazione radioattiva. Le conseguenze della devastazione varierebbero secondo la natura della particolare zona attaccata (città importanti, centrali elettriche, sorgenti di materie prime o di produzione alimentare). In ogni caso la vita economica rimarrebbe completamente distrutta, e la devastazione generale, inclusa la contaminazione radioattiva dovuta ad esplosioni a bassa quota, sarebbe tale da impedire ogni assistenza immediata dall'esterno alle zone devastate. In ipotetici studi di questo genere è stato anche valutato che, in assenza di speciali protezioni, i decessi causati dal solo effetto meccanico di 400 bombe da 10 megatoni, esplose a grandi altezze sulle zone metropolitane degli Stati Uniti, eliminerebbero più di metà della popolazione americana (di circa 200 milioni di persone); anche se l'intera popolazione fosse al riparo in efficienti rifugi contro il fall-out, vi sarebbe la stessa proporzione di morti qualora gli ordigni fossero esplosi al suolo.

Uno studio svedese sulle conseguenze di attacchi nu-

cleari contro città della Svezia ha dimostrato che l'esplosione di circa 200 bombe, da 20 a 200 chilotoni di potenza, darebbe come risultato 2-3 milioni di vittime, cioè il 30-40% della popolazione totale (di circa 7 milioni). Inoltre il 30-70% della industria svedese verrebbe distrutto e circa due terzi dei lavoratori riporterebbero ferite mortali o gravi. L'attacco ipotizzato in questo particolare studio è piuttosto massiccio, eppure corrisponde appena ad una piccolissima frazione delle armi nucleari che sono accumulate negli arsenali.

Altri studi svedesi hanno anche dimostrato che il grado di protezione contro il fall-out radioattivo fornito in Svezia dalle costruzioni esistenti nelle zone rurali e urbane varia grandemente. In nessuna regione le costruzioni attuali fornirebbero una protezione adeguata contro le più alte intensità di radiazioni che libererebbero nella zona più colpita dal fall-out. Ma una protezione efficace potrebbe essere disponibile in gran parte della zona colpita dal fall-out se si avesse il tempo per costruire rifugi, e rifornirli con cibo e altre cose necessarie alla sopravvivenza. Anche le normali costruzioni, qualora rimanessero in piedi, fornirebbero una certa protezione dalla radiazione causata dal fall-out.

Oltre alla necessità di proteggersi contro le radiazioni nucleari residue esterne, cioè le radiazioni emesse oltre un minuto dopo l'esplosione nucleare, vi è l'ulteriore pericolo di radiazioni interne, risultanti cioè dall'ingestione di elementi radioattivi contenuti nei cibi contaminati dal fall-out particolarmente in quelli di origine vegetale, ed in certi casi nelle acque di superficie. La quantità di sostanze radioattive, che potrebbero essere immesse nel corpo tramite cibo contaminato, supererebbe quella proveniente dall'inalazione di aria contaminata o dall'assorbimento di acqua contaminata; e il decadimento radioattivo di queste sostanze all'interno del corpo danneggerebbe irreparabilmente i tessuti.

Il fenomeno dell'immigrazione nelle città aumenta indubbiamente il pericolo della contaminazione radioattiva a causa della concentrazione di un numero elevato di abitanti in a-

ree di piccola estensione. Questo fatto ha conseguenze più rilevanti in Europa. Un'analisi fatta su circa 100 città europee ha dimostrato che, mentre le più grandi città distano in media 30-50 km l'una dall'altra, le più piccole in media distano non più di 10-15 km. In Germani la distanza tra i villaggi è in media di appena 1-2 km. La contaminazione radioattiva, nonostante la continua diminuzione di intensità, persisterebbe per anni dopo un pesante attacco nucleare e creerebbe continui problemi per le zone che producono derrate alimentari e per gli approvvigionamenti d'acqua. La Figura 4 illustra l'eventuale estensione del fall-out radioattivo determinato da una esplosione di 20 megatoni su Amburgo, mentre la Figura 7 illustra le analoghe conseguenze di un'esplosione di 15 megatoni su Londra. E' stato inoltre calcolato che un'esplosione da 20 megatoni su Boston, negli Stati Uniti, causerebbe un fall-out, per un raggio di circa 50 km, tale che metà della popolazione senza rifugio nei limiti di quest'area morirebbe entro 48 ore. Anche se fossero predisposti rifugi, le alte dosi di radiazione che verrebbero assorbite sarebbero ancora in grado di produrre la diffusione di malattie da radiazione, così come danni fisici e genetici a lungo termine.

4. Effetti dell'impiego di armi nucleari in una guerra tattica

Da alcune parti si sostiene ancora la dottrina militare secondo cui ogni disparità delle forze convenzionali di due potenze in guerra potrebbe essere corretta usando armi nucleari nelle zone operative. Questa affermazione deve essere verificata in base alle due ipotesi possibili: la prima che ambedue le parti dispongano di armi nucleari, la seconda che solo una delle parti ne sia in possesso. Nel primo caso, quando cioè la situazione è simmetrica, studi minuziosi ed oggettivi sull'uso delle armi nucleari in una guerra tattica, comprendenti analisi di una serie estesa di esercitazioni militari ("war games"), relativi alla zona europea, hanno dimostrato chiaramente che questa dottrina militare potrebbe portare all'uso di centinaia (non di decine) di armi nucleari cosidette tattiche

FIGURA 5

Curca della quanità di dose, per unità di tempo, del fall-out immediato provocato dall'esplosione al suolo di un ordigno da un megatone (velocità del vento = 24 km/h).

Direzione del vento
24 km/h

(un'ora dopo l'esplosione)

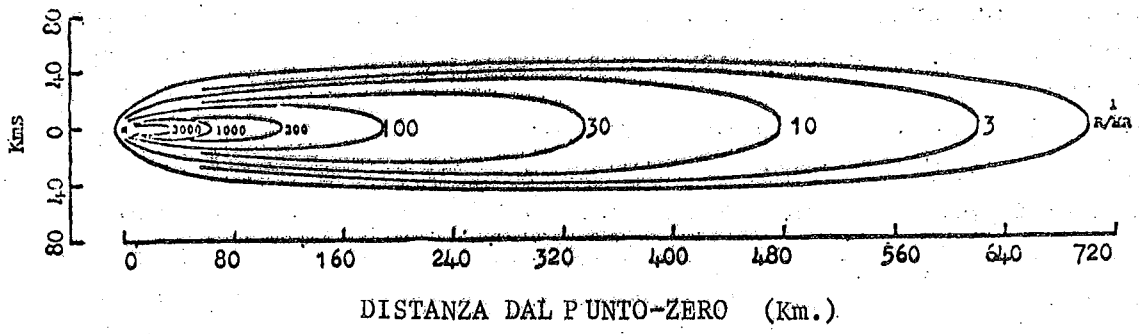
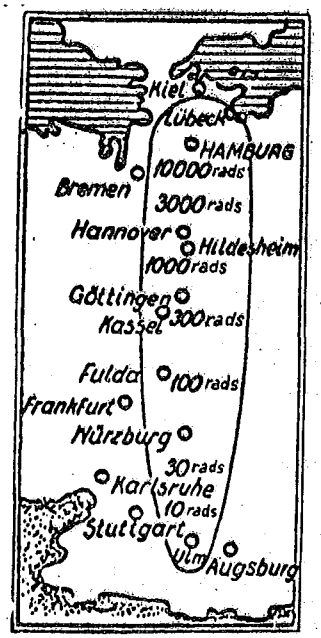
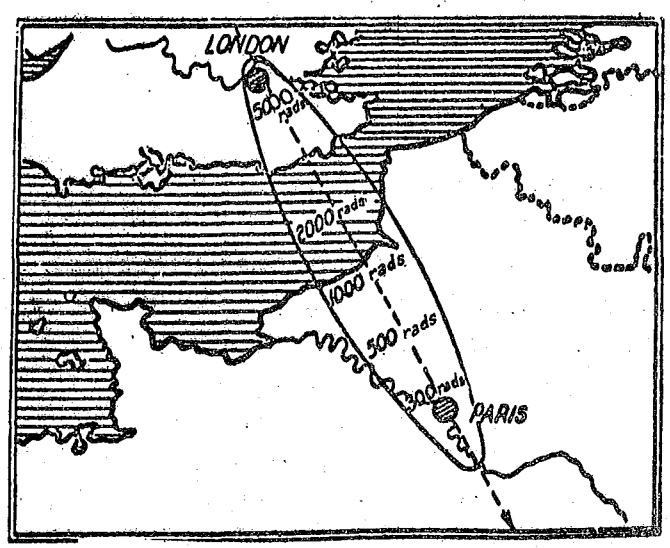


FIGURA 6



Stima della zona contaminata dal fall-out, in seguito ad un'esplosione da 20 megatoni su Amburgo. La dose di radiazione indicata è quella che potrebbe essere rilevata 48 ore dopo l'esplosione.

FIGURA 7



Stima della zona contaminata dal fall-out, in seguito ad un'esplosione da 15 megatoni sopra Londra. La dose di radiazione indicata è quella che potrebbe essere rilevata 36 ore dopo l'esplosione.

nelle zone operative - ammesso che ambedue le parti ricorrano al loro impiego. Senza andare nei dattagli di questi studi si può senz'altro affermare che, ove le armi nucleari venissero usate in questo modo, potrebbero condurre alla devastazione dell'intera zona interessata dalla battaglia. Quasi ogni cosa sarebbe distrutta, le foreste rase al suolo, soltanto le costruzioni più solide sfuggirebbero alla totale distruzione mentre le fiamme infurierebbero ovunque. Circostanze come queste impedirebbero la continuazione delle operazioni militari all'interno delle zone devastate.

Un'offensiva dell'ordine di grandezza suggerita da tutti questi studi, in un teatro di operazioni con un fronte di 250 km e 50 km di profondità, creerebbe centinaia di migliaia o addirittura milioni di senzatetto. Un tale grado di distruzione potrebbe essere raggiunto soltanto con 100 piccole armi nucleari in una zona di battaglia europea; scelta col deliberato proposito di evitare le grandi città. Con 400 armi nucleari, che non è poi un numero irragionevolmente elevato se gli avversari utilizzano armi nucleari nel campo di battaglia, i danni fisici causati corrisponderebbero a circa sei volte quelli causati da tutti i bombardamenti della seconda guerra mondiale, e verrebbero subiti in pochi giorni invece che in alcuni anni. Anche non considerando i profondi effetti psicologici di un tale scontro, il caos che ne risulterebbe supera qualunque immaginazione.

Le stime dimostrano che con 100 armi aventi una potenza media di 30 chilotoni (da 5 a 50 chilotoni) circa un decimo dell'ipotetica area europea di battaglia sarebbe completamente devastato, e circa un quarto seriamente danneggiato. Con 200 armi, circa un quinto sarebbe devastato e metà di esso danneggiato, e con 400 armi circa un terzo della zona sarebbe devastato e tutta seriamente danneggiata. Anche con sole 100 armi, si avrebbe una distruzione di un ordine di grandezza inimmaginabile su un'area di circa 12.500 kmq. In un altro studio, concernente l'Europa, è stata presa in considerazione una battaglia, nella quale le due opposte parti impiegano armi la cui potenza si aggira sui 20-25 megatoni in una zona di 25.000 kmq , con non meno di 500 e non più di 1.000 attacchi contro obiettivi e

sclusivamente militari. In questo scontro circa 3,5 milioni di persone avrebbero le loro case distrutte, se le armi venissero esplose in aria, e 1,5 milioni se le armi venissero esplose a terra. Nel primo caso, almeno metà della popolazione interessata sarebbe fatalmente o gravemente colpita; nel secondo caso 1,5 milioni di persone riceverebbero dosi letali di radiazioni e altri 5 milioni dosi considerevoli, anche se non letali.

Un problema che immediatamente si pone è di sapere se le operazioni militari avrebbero un senso in relazione a distruzioni dell'ordine di grandezza indicato da queste valutazioni. Una gran parte della popolazione civile sarebbe coinvolta,a meno che la battaglia non avesse luogo in un deserto. Il numero dei colpiti, civili e militari, non può essere valutato in modo preciso, in relazione alla popolazione presente nella zona durante la battaglia, poichè la necessità di ridurre le perdite militari detterebbe tattiche di dispersione e in conseguenza aumenterebbe il numero di attacchi nucleari necessari a produrre i previsti risultati militari. La paura ed il terrore, sia nella popolazione civile che in quella militare, potrebbero dominare la situazione.

Gli strateghi militari non hanno alcuna esperienza sulla quale basarsi per prevedere l'evolversi delle operazioni militari in simili circostanze. Quando tali livelli di distruzione materiale e morale sono raggiunti ci si potrebbe davvero chiedere cosa determinerà il corso della battaglia nucleare.Il numero delle perdite del nemico? La violenta reazione psicologica, e la paura ed il terrore di fronte all'orrore della improvvisa distruzione totale?Porterebbe il caos arresto immediato di tutte le operazioni militari? Qualunque sia la risposta a queste domande, è abbastanza chiaro che la distruzione e la rovina, che risulterebbero dalla cosidetta guerra tattica nucleare, differirebbero di poco dagli effetti della guerra nucleare strategica nell'area in questione. La concezione di una escalation dalla guerra nucleare tattica a quella strategica non avrebbe alcun significato in una zona nella quale fosse in corso una battaglia con l'uso di armi nucleari tattiche.

Questo quadro non muta se si prendono in considerazione le armi nucleari cosidette "pulite", al posto di quelle considerate negli studi precedenti. E' stata sostenuta la tesi secondo cui sarebbe possibile la costruzione per impieghi tattici in un campo di battaglia, di armi a basso potenziale (1 - 10 kilotoni), che darebbero luogo prevalentemente ad effetti meccanici ed a radiazioni termiche, mentre non produrrebbero virtualmente nessun fall-out radioattivo. In questo contesto, peraltro, la qualifica di "pulite" ha un senso molto relativo. Infatti le armi in questione si baserebbero sempre su una reazione di fissione, per cui il fall-out radioattivo non potrebbe essere completamente evitato (1).

In ogni caso gli studi precedenti presuppongono esplosioni nucleari che producono una minima contaminazione radioattiva rispetto a quella prodotta dalle normali armi a fissione. Il caos che si verificherebbe nelle zone operative verrebbe prodotto così non dal fall-out, ma in primo luogo dagli effetti meccanici; per cui se le armi "pulite" fossero utilizzate sul campo di battaglia è difficile credere, in ultima analisi, che si eviterebbe il caos di cui si è parlato prima. Si deve ritenere pertanto che, presto o tardi, la situazione nelle zone di operazione diventerà simile a quella indicata dagli studi descritti più sopra.

---

(1) - Lo stesso potrebbe dirsi dell'impiego in campo strategico delle armi "pulite" di maggiore dimensioni. In questo caso ci sarebbe da aggiungere una considerevole quantità di radioattività indotta, causata dalla cattura di neutroni da parte del carbonio atmosferico, che darebbe luogo a Carbonio-14 radioattivo di lunga durata. Se si considera il fall-out in un lungo periodo e su una vasta estensione, questo rischio radioattivo derivante dalle cosidette armi "pulite", è paragonabile in gravità a quello delle armi meno "pulite".

5. Attacchi d'interdizione

Se tali armi dovessero essere mai usate in una guerra, è certo che il loro impiego non sarebbe limitato alla sola zona di battaglia, anche se non si prevede la possibilità di arrivare ad un loro impiego strategico. Secondo la dottrina della guerra "tattica" nucleare, in una campagna puramente militare tali armi si dovrebbero usare anche al di fuori dell'area dello scontro, per impedire il movimento di forze nemiche, operazioni aeree e così via. Gli obiettivi da attaccare per ottenere questi effetti sono chiamati generalmente bersagli d'interdizione. Studi teorici di operazioni di questo genere forniscono un quadro di attacchi nucleari "in profondità" i cui effetti sarebbero difficilmente distinguibili da quelli prodotti da uno scontro strategico nucleare, nel quale ambo le parti si impegnassero sin dall'inizio a distruggere reciprocamente i propri maggiori centri abitati. Per illustrare il significato di ciò, si può riportare uno studio nel quale si presuppone che le installazioni ferroviarie di un importante nodo di comunicazione siano attaccate da una bomba da 20 chilotoni(o da 100 chilotoni) per rendere tale centro impraticabile alle truppe e ai rifornimenti, e fornire così un vantaggio nella battaglia in corso altrove.

Il centro ferroviario scelto è una città con 70.000 abitanti viventi in 23.000 case in una zona di circa 50 kmq. Si è supposto che la bomba esploda a terra, così da aumentare al massimo gli effetti sulle linee ferroviarie. Questo tipo d'impiego, differente da quello usato contro le città giapponesi, produrrebbe anche il massimo fall-out locale. Con la bomba di 20 chilotoni, i binari verrebbero distrutti per un centinaio di metri; una grande quantità di detriti proiettati dal cratere coprirebbe tutte le linee vicine; ostruzioni sarebbero causate dal crollo dei ponti stradali, dei cavalcavia e di altre costruzioni fino a circa 3 km ½ di distanza dall'esplosione; tutti i depositi di carburante e gli hangars per i servizi rimarrebbero distrutti. Con una bomba di 100 chilotoni l'ampiezza dei danni sarebbe, naturalmente più grande: circa 1,5 km di binari sarebbe distrutto o impedito da pesanti detriti, e le strade principali che tagliano la città sarebbero completamente bloccate. Il

problema di riattivare una strada o la ferrovia sarebbe estremamente arduo per la grande quantità di detriti radioattivi, e così complesso che quasi certamente sarebbe più facile costruire una deviazione intorno alla città. Se questi attacchi facessero parte di un generale programma di bombardamenti di interdizione, si può ritenere che il sistema di comunicazione e di trasporti di un paese, e molte altre cose ancora, potrebbe essere totalmente distrutto in brevissimo tempo.

Il calcolo degli inevitabili effetti collaterali del bombardamento di un solo nodo ferroviario nel contesto di un tale programma di attacchi, dimostra che la maggior parte dell'attività industriale e commerciale nel centro della città andrebbe distrutta. Il fuoco distruggerebbe non soltanto le case ma anche le costruzioni più grandi e le industrie non immediatamente distrutte dalla esplosione. Una bomba di venti kilotoni gettata, per un attacco di interdizione, su una città che rappresenti un nodo di comunicazione, ucciderebbe circa un quarto dei 70.000 abitanti, mentre un attacco con una bomba da 100 kilotoni ne ucciderebbe circa la metà. I sopravvissuti dovrebbero affrontare lo stesso genere di situazione descritta nel caso delle due città giapponesi bombardate nel 1945, o della città più grande attaccata con un'arma da un megatone, che è stata considerata sopra. Se un programma di attacchi di interdizione, su obiettivi situati dietro la zona di operazione degli eserciti avversari, includesse centri di comunicazione come aereoporti, depositi di rifornimenti, fabbriche di armi e così via, non differirebbe nei suoi effetti da un ampio scontro nucleare "strategico" tra due potenze ostili.

6. Deterrenza o guerra.

Le armi nucleari costituiscono uno dei fatti determinanti della politica del mondo contemporaneo. Le potenze nucleari dispongono attualmente di migliaia di ordigni la cui potenza va da alcuni kilotoni fino a molti megatoni. Siamo già stati testimoni dell'esplosione sperimentale di armi da 50 e da

60 megatoni, armi cioè che superano di circa 3.000 volte la potenza della bomba usata nel 1945 contro il Giappone, e non è difficile costruire armi da centinaia di megatoni, la cui potenza sarebbe cioè 5.000 volte maggiore di quelle di Hiroshima e Nagasaki. Queste potrebbero essere esplose nell'atmosfera al di sopra di un paese per distruggere completamente centinaia, perfino migliaia di kmq a causa dello scoppio e degli incendi che ne deriverebbero. E' stato affermato da fonti autorevoli che in certe zone potrebbero anche venir fatte esplodere armi di molti megatoni su navi in prossimità delle coste, in modo da creare enormi onde marine che spazzino le zone costiere.Gli effetti di un conflitto nucleare integrale, da qualunque parte fosse scatenato, non sarebbero limitati soltanto ai paesi in esso impegnati. Se è vero che questi ultimi subirebbero immediatamente il genere di distruzione descritto ed il fall-out radioattivo iniziale e residuo, i cui effetti sono stati già esaminati è vero che i paesi confinanti, ed anche altri, in parti del mondo lontane dal conflitto, potrebbero trovarsi esposti ai rischi delle ricadute radioattive, che possono avvenire a grandi distanze dall'esplosione, trasportate, da grandi nubi anomale vaganti nell'atmosfera. Così, per lo meno nell'ambito dello stesso emisfero, un perdurante pericolo radioattivo incombereb be sulle popolazioni lontane come su quelle vicine, a causa dell'ingerimento di cibi ricavati da vegetali contaminati e per le radiazioni esterne dovute alle particelle del fall-out depositatesi sulla terra. L'entità e la natura del pericolo dipendono dal numero e dal tipo delle bombe esplose. Se il numero è grande, nessuna parte del mondo potrebbe evitare di essere esposta a dosi di radiazione biologicamente rilevanti.La popolazione mondiale erediterebbe in maggiore o minore misura tare genetiche dannose.

Si pensa che nessuna delle maggior potenze nucleari mondiali possa attaccarne un'altra senza esporsi ad un contrattacco. E' anche possibile che un aggressore possa subire maggiori danni dai contrattacchi di quelli subiti dalla potenza nucleare attaccata. In questo consiste il concetto di "deterrenza", o dissuasione, con la minaccia della distruzione nucleare. Lungi dall'essere un atto razionale, un vasto scontro nucleare non potrebbe mai essere giustificato, qualunque sia

il tipo di contropartita politica che esso possa far acquisire; nessun paese, per perseguire i suoi obiettivi politici, vorrebbe rischiare la totale distruzione della propria capitale, senza considerare la distruzione di tutti i suoi maggiori centri abitati, o il conseguente caos che metterebbe in forse la stessa capacità del governo di mantenersi alla testa della nazione. Ma il fatto che uno stato di reciproca deterrenza sia in atto tra le super-potenze non impedisce, come tutti ben sanno, lo scoppio di guerre con armi convenzionali che potrebbero coinvolgere sia i paesi che non sono in possesso di armi nucleari, che quelli che ne posseggono. Il rischio di una guerra nucleare resta fino a quando vi saranno armi nucleari.

I fatti essenziali relativi alle armi nucleari ed al loro uso sono amari e terrificanti per la civiltà, ma sono stati nascosti dietro una massa di verbosità teoretica. E' stato detto che il mondo ha imparato a vivere con la bomba atomica; è stato anche detto che il mondo non deve lasciarsi trascinare stupidamente a morire da questa. Il problema fondamentale che il mondo deve risolvere nella nostra era nucleare, e che riguarda sia le potenze nucleari che quelle non nucleari, è di sapere quali interessi a breve termine esso è disposto a sacrificare in cambio di garanzie di sopravvivenza e di sicurezza.

III. EFFETTI GENETICI DELLE RADIAZIONI NUCLEARI

1. Considerazioni generali

E' stato sperimentalmente dimostrato che le radiazioni ionizzanti possono introdurre alterazioni nel materiale ereditario delle piante, degli animali, e degli esseri umani. Questi mutamenti si dividono in due categorie: innanzi tutto mutazioni geniche , consistenti in alterazioni dei singoli geni, che sono le unità elementari di informazione che formano il "messaggio" genetico trasmesso da ciascun genitore ai discendenti per mezzo delle cellule germinali; in secondo luogo aberrazioni cromosomiche, dovute alla eliminazione, duplicazione o ridistribuzione delle parti maggiori o minori dei cromosomi nei quali sono contenuti i geni, e perciò concernenti l'intero blocco delle unità elementari che costituiscono il "messaggio" genetico. Bisogna rilevare però che mutamenti genetici similari possono avvenire spontaneamente anche tra gli esseri umani e in altre specie.

Gli studiosi di genetica affermano che la stragrande maggioranza delle nuove mutazioni genetiche, siano esse spontanee, o indotte dalle radiazioni, o da altri agenti è senz'altro nociva. Gli individui portatori dei geni o dei cromosomi così mutati hanno minore possibilità di trasmettere il loro "messaggio" genetico, o perchè la loro fertilità è diminuita o per una limitata probabilità di sopravvivenza. Di conseguenza, questi mutamenti genetici tendono ad autoeliminarsi. Alcuni di essi hanno come risultato conseguenze appena rilevabili in campo sociale, come quando una cellula germinale è perduta o un ovulo fertilizzato non riesce a svilupparsi. Ma altre alterazioni possono causare gravi danni sia alla società che all'individuo, se riguardano in misura rilevante il normale sviluppo mentale e apportano danni come la deficienza mentale o un importante difetto fisico.

La maggior parte delle mutazioni spontanee nell'uomo si crede venga eliminata durante lo sviluppo o delle cellule

germinali o dell'embrione: non è quindi facile rilevarle con facilità; ma è stato possibile osservare la frequenza di un certo numero di caratteri ereditari dominanti che si manifestano nei discendenti degli individui che trasmettono geni alterati e calcolare così il corrispondente tasso di mutazioni. Si conosce egualmente la frequenza di certe aberrazioni cromosomiche spontanee associate a deficienze mentali o fisiche. La maggior parte di queste deficienze sono il risultato di mutamenti che hanno avuto luogo nelle cellule germinali dei genitori degli individui colpiti.

Non si posseggono per il momento informazioni dirette sul tasso di induzione delle mutazioni genetiche nell'uomo dovute a radiazioni. Ma stime dei rischi genetici originati da radiazioni ionizzanti possono essere tuttavia ottenute con i risultati di esperimenti su animali, in particolare sui topi, o, in caso di aberrazioni cromosomiche, su tessuti coltivati di pelle e di sangue umani esposti alle radiazioni. Gli esperimenti sui topi dimostrano, confermando i risultati di esperimenti su organismi più primitivi, che la frequenza delle alterazioni genetiche è direttamente proporzionale alla dose di radiazione. Inoltre, pare assodato che la frequenza per unità di dose è più bassa se la dose è assorbita in un lungo periodo di tempo che quando è assorbita istantaneamente. Mentre questi esperimenti hanno permesso di descrivere gli effetti delle radiazioni sulle mutazioni genetiche, essi non indicano in maniera soddisfacente, per quanto riguarda l'uomo, in che modo o a quale ritmo le mutazioni genetiche radio-indotte sarebbero eliminate nella popolazione, nè la proporzione dei mutamenti che avrebbe conseguenze dannose. Inoltre non è possibile stabilire quanti storpi o deficienti mentali nascerebbero in una generazione discendente da individui irradiati; ma anche il numero totale registrato nel corso di tutte le generazioni è egualmente molto incerto. I limiti degli esperimenti e le conclusioni fatte ci portano a risultati molto approssimativi sulla frequenza di possibilità difetti sui discendenti. Eccetto che allo scopo di mettere in luce le più estreme possibilità, questi calcoli hanno un valore limitato e non sono perciò stati inclusi in questa sede.

Al contrario dei mutamenti dei geni, le aberrazioni cromosomiche indotte dalle radiazioni sono state direttamente osservate in tessuti somatici di esseri umani irradiati. Esse sono state anche studiate in gran numero di piante e di animali, inclusi topi e scimmie sulle quali si sono fatte osservazioni dirette in cellule germinali immature. Allo stesso modo che per i mutamenti dei geni, la frequenza delle aberrazioni cromosomiche dipende dalla dose di radiazione; ma la relazione tra la dose e la frequenza delle aberrazioni è più complicata che nel caso di mutazioni dei geni e quando si tratta di basse dosi è ancor meno ben conosciuta. Sulla base di alcune considerazioni un po' arbitrarie è possibile ottenere stime quantitative del tasso di induzione di radiazioni su alcuni tipi di aberrazioni cromosomiche, di cui è nota l'associazione con certi gravi difetti fisici e mentali nell'uomo, ma è incerto quanta importanza si possa dare a simili valutazioni. Nulla si sa sul probabile tasso di induzione di altre anomalie cromosomiche più numerose che, in popolazioni non irradiate, sono presenti con gravi conseguenze in circa l'1% dei bimbi nati vivi e sono anche responsabili per circa il 4% degli aborti spontanei.

La maggior parte dei difetti conosciuti associati alle aberrazioni cromosomiche sono così gravi da impedire la riproduzione degli individui che ne sono affetti. Perciò una larga frazione di aberrazioni cromosomiche indotte dovrebbe coinvolgere al massimo la immediata generazione dei discendenti degli individui nei quali esse sono apparse.

In generale gli effetti genetici a lungo termine delle radiazioni nucleari in un organismo vivente sono cumulativi. Questi effetti non saranno accompagnati da alcuna lesione visibile presso gli individui esposti, ma trasmetterebbero conseguenze indesiderabili nelle generazioni successive, fino al momento in cui si elimineranno da se stessi. Studiare gli effetti di una irradiazione massiccia su una popolazione, richiede una analisi approfondita della relazione tra le dosi liberate e la frequenza dei mutamenti prodotti; e ciò richiede anche una valutazione globale delle loro conseguenze sociali, come an

che di quelle biologiche. La mancanza di informazioni sulla "radio-genetica", insieme all'incertezza circa la quantità di radiazioni cui verrebbe esposta una popolazione in un conflitto nucleare, rendono molto difficili calcoli precisi sui danni genetici. Si può comunque ragionevolmente dire che una popolazione che sia stata irradiata con intensità sufficiente ad uccidere una piccola percentuale dei suoi membri, subirà a lungo termine gravi conseguenze genetiche.

CAPITOLO II

CARATTERISTICHE GENERALI DELLE ESPLOSIONI NUCLEARI

Introduzione

La potenza di un'arma nucleare si esprime in termini di quantità di energia liberata durante l'esplosione, in rapporto all'energia sviluppata da una esplosione equivalente di esplosivo chimico trinitrotoluolo (TNT o tritolo). Le più grosse bombe convenzionali che siano state finora fabbricate contenevano l'equivalente di circa 10 tonnellate di tritolo. Un'arma nucleare di un kilotone sviluppa una quantità di energia equivalente a quella dell'esplosione di mille tonnellate di tritolo; corrispondentemente un'arma nucleare da un megatone sviluppa energia pari a quella prodotta da un milione di tonnellate di tritolo (cioè 1000 kilotoni). Montando una simile arma su potenti missili balistici le si può far raggiungere in pochi minuti qualunque punto della terra. Esplosioni nucleari di entità maggiore a 50 megatoni sono già avvenute e sarebbe possibile effettuarne oggi anche maggiori, poichè non esistono limiti superiori alla potenza delle armi nucleari, qualora non si tenga conto delle dimensioni e del peso.

I. ESPLOSIONI NELL'ATMOSFERA

1. Effetti fisici e clinici

Se un'arma nucleare viene fatta esplodere nell'atmosfera, il 50% della sua energia totale si trasforma in puro effetto esplosivo ed in onda d'urto, il 35% in radiazione termica ed il 15% in radiazione nucleare (vedi Figura 8). Queste proporzioni variano qualora le esplosioni vengano effettuate ad altezze superiori ai 30.000 m o nel sottosuolo.

Ad altezze elevate la percentuale di energia che si trasforma in onda d'urto diminuirebbe, mentre aumenterebbe la percentuale di energia che si trasforma in radiazioni termiche nel sottosuolo invece non si libererebbe nessuna radiazione termica. Un'esplosione nucleare differisce fondamentalmente da un'esplosione di tipo convenzionale, non solo perchè la sua potenza esplosiva è di parecchi ordini di grandezza superiore (a parità di massa) ma anche in quanto ne derivano effetti dovuti a radiazioni termiche e nucleari.

L'effetto meccanico, accompagnato dalla sovrapressione, di una esplosione nucleare dipende dalla potenza dell'ordigno e dall'altezza in cui avviene l'esplosione (vedi tavole 1 e 2). Le radiazioni termiche si propagano per irraggiamento nell'atmosfera alla velocità della luce fino a distanze che dipendono dalla trasparenza dell'atmosfera stessa (visibilità) al momento dell'esplosione (vedi Figura 9) Un'esplosione prodotta da un ordigno nucleare da un megatone, in una giornata discretamente limpida, può causare scottature moderatamente gravi sulla pelle non protetta entro un raggio di 20 km (vedi Tavola 3).

Tavola 1

Entità dei danni provocati da un ordigno nucleare da 20 kt esploso ad un'altezza di circa 600 m dal suolo.

Vel. max. vento (km/h)	Durata fase posit. (sec.)	Press. dinam. max. (kg/cmq)	Sovra-press. mx. (kg/cmq)	Dist. punto zero km	
					Danni lievi a porte e fineste, danni moderni agli intonaci oltre i 6 km, possibile rottura dei vetri oltre 12 km.
				3,2	
112,6	0,95	0,006	0,140	-3,0	
				2,9-	Sost. fini infiammabili: bruciate
127,1	0,94	0,008	0,161	-2,7	Costruz. in legno: danni moderati Camini: danni lievi
				2,5-	
149,6	0,92	0,012	0,190	-2,4	
				2,2-	
180,2	0,90	0,019	0,224	-2,1	Costruz. in legno: danni gravi Ripetitori radio-Tv: danni moderati Costruz. in mattoni senza armatura (tipo abitaz.): danni moderati
				1,9-	
223,7	0,86	0,029	0,295	-1,8	Costruz. in mattoni senza armatura (tipo abitaz.): danni gravi
				1,6-	Linee elett. e telef.: danni limitati
321,8	0,80	0,056	0,421	-1,5	Costruz. senza armatura a più piani (tipo monum.) danni moderati Edifici industriali con armature leggere d'acciaio: danni moderati
				1,3-	
468,3	0,72	0,105	0,703	-1,2	Costruz. senza armatura a più piani (tipo monument.): danni gravi Edifici industriali con armature leggere d'acciaio: danni gravi. Opere stradali e ferroviarie: danni moderati

(continua Tavola 1)

Vol. max. vento (km/h)	Durata fase posit. (sec.)	Press. dinam. max. (Kg/cmq)	Sovra-press. max. (Kg/cmq)	Dist. punto zero Km.		
				0,96-		
693,6	0,63	0,274	1,146		-0,90	Edifici con armatura in acciaio a più piani: danni gravi (per uff.) Veicoli: danni moderati Edifici a più piani in cemento armato, resistenti all'urto: danni moderati
738,6	0,54	0,534	2,285	0,65-	-0,60	Edifici ad armatura a più piani in cemento armato (per uff.): danni gravi. Edifici a più piani in cemento armato, resistenti all'uro: danni gravi. Altre strutt. al suolo: seriamente danleggiate o distrutte.
418,4	0,44	0,260	2,110	0,30-		
					-0	Punto-zero

Tavola 2

Entità dei danni provocati da un ordigno nucleare da 1 mt esploso ad un'altezza di circa 2.000 m dal suolo.

Vel. max. vento (km/h)	Durata fase posit. (sec.)	Press. dinam. max. (Kg/cmq)	Sovra-press. max. (Kg/cmq)	Dist. punto zero km.	
					Danni lievi a porte e finestre, danni moderati agli intonaci oltre i 24 km. possibile rottura di vetri oltre i 48 km.
				16,1-	
70,8	3,45	0,002	0,084	-15,2	
				14,5-	
82,1	3,45	0,003	0,098	-13,7	Sostanze fini infiamm.: bruciate
				12,9-	
96,5	3,44	0,005	0,119	-12,2	
				11,2-	
115,8	3,43	0,008	0,147	-10,7	Camini: danni lievi
				9,6-	Costruz. in legno: danni moderati
157,7	3,40	0,012	0,182	-9,1	Ripetitori radio -Tv: danni moderati
				8,0-	Costruz. in legno: danni gravi. Linee elettr. e telef.: danni lim.
188,3	3,24	0,019	0,246	-7,6	
				7,2-	Costruz. in mattoni senza armatura (per abitaz.): danni moderati
				6,4-	Costruz. in mattoni senza armatura (per abitaz.): danni gravi
284,8	3,02	0,042	0,386	-6,1	Edifici industriali ad armatura leggera in acciaio: danni moderati
				5,6-	Edifici industriali ad armatura leglera in acciaio: danni gravi Costruz. senza armatura a più piani (tivo monument.): danni moderati
				4,8-	

(continua Tavola 2)

Vel. max. vento (km/h)	Durata fase posit. (sec.)	Press.+ dinam. max. (kg/cmq)	Sovra-press. max. (Kg/cmq)	Dist. punto zero km		
446,5	2,69	0,098	0,661		-4,6	Costr. senza armatura a più piani (tipo monument.): danni gravi
				4,0-		Opere stradali e ferroviarie: danni moderati Edifici con armatura in acciaio a più piani (per uff.): danni gravi Veicoli: danni moderati
				3,2-		
746,7	2,25	0,436	0,703		-3,0	Edifici a più piani in cemento armato (per uff.): danni gravi
494,0	1,75	0,253	1,898	1,6-		Edifici a più piani in cemento armato resistenti all'urto: danni moderati.
					-1,5	Edifici a più piani in cemento armato resistenti all'urto: danni gravi
				0,8-		Altre strutture al suolo, seriamente danneggiate e distrutte
					-0	Punto-zero

FIGURA 8

Distribuzione dell'energia emessa da una bomba a fissione fatta esplodere nella atmosfera ad un'altezza di circa 30.000 m.

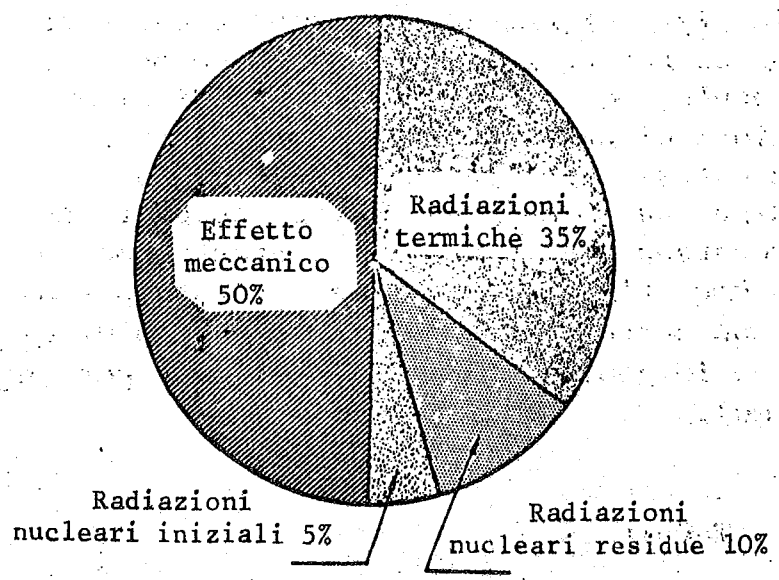
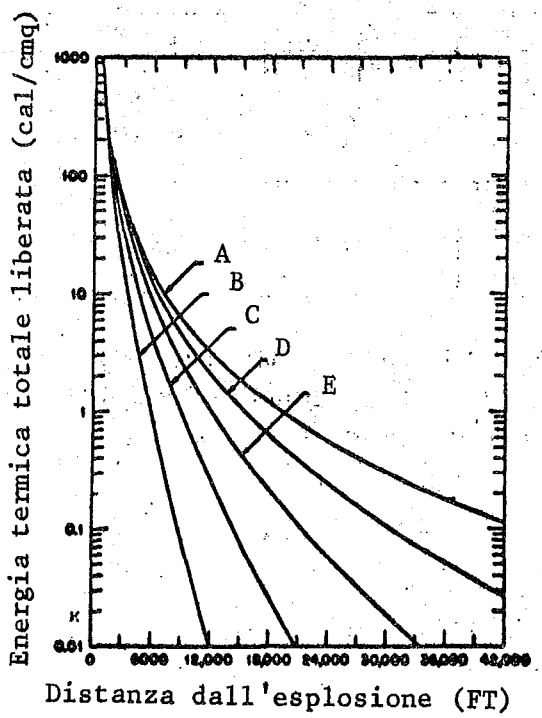


FIGURA 9

Energia termica totale emessa da una bomba da 20 kilotoni, in funzione della distanza e delle condizioni atmosferiche.



A Eccezionalmente chiaro. Visibilità 50 km.
B Nebbia densa. Visibilità 3 km.
C Nebbia scarsa. Visibilità 5 km.
D Molto chiaro. Visibilità 20 km.
E Chiaro. Visibilità 10 km.

Il calore può essere percepito fino ad una distanza di 120 km dall'esplosione. Incendi di una certa gravità potrebbero verificarsi nei centri abitati e nelle foreste, con la possibilità che si creino tempeste di fuoco, cioè giganteschi incendi nei quali l'aria viene risucchiata al centro della regione in fiamme così da creare un rogo che distrugge ogni cosa al suo interno. Per esplosioni atmosferiche di ordigni nucleari con potenza maggiore di un megatone, queste distanze diventerebbero ancora più estese. Si è calcolato che, in una giornata chiara, un ordigno da 10 megatoni fatto esplodere ad un'altezza di 50 km. brucerebbe la superficie terrestre per una area di circa 15.000 kmq. L'energia termica ricevuta per unità di superficie, ad una certa distanza dall'epicentro di una esplosione nucleare, è in genere espressa in calorie per centimetro quadrato (cal/cmq).

Tavola 3

Distanze (in km a partire dal punto-zero) alle quali esplosione nell'atmosfera di varie grandezze, procurano scottature di I° e II° grado (*)

Grado delle scottature	Potenza dell'esplosione				
	1 kt	10 kt	100 kt	1 mt	10 mt
I° grado (arrossamento)	1,1	3	8,5	22,4	48
II° grado (vescigazione)	0,8	2,4	6,4	18	38,4

(*) - Nel caso di un'esplosione al suolo, le distanze riportate potranno essere circa i 4/5 di quelle per un'esplosione nell'atmosfera della stessa potenza.

La Figura 10 mostra l'area in cui si manifestano gli effetti meccanici e le radiazioni termiche per esplosioni tipiche da 10 kt, 1 mt e 10 mt, nell'atmosfera. All'interno delle zone la cui sovrapressione supera i 0,35 kg/cmq la quasi totalità degli edifici andrebbe completamente distrutta; invece con una sovrapressione di 0,07 kg/cmq le intelaiature delle finestre, le porte ed i muri rimarrebbero solo leggermente danneggiati. All'interno della zona centrale in cui si verificano i danni di maggiore entità, sarà anche molto probabile che scoppiano incendi e che gli individui siano esposti agli effetti delle radiazioni nucleari termiche ed agli effetti meccanici.

2. Radiazioni nucleari iniziali

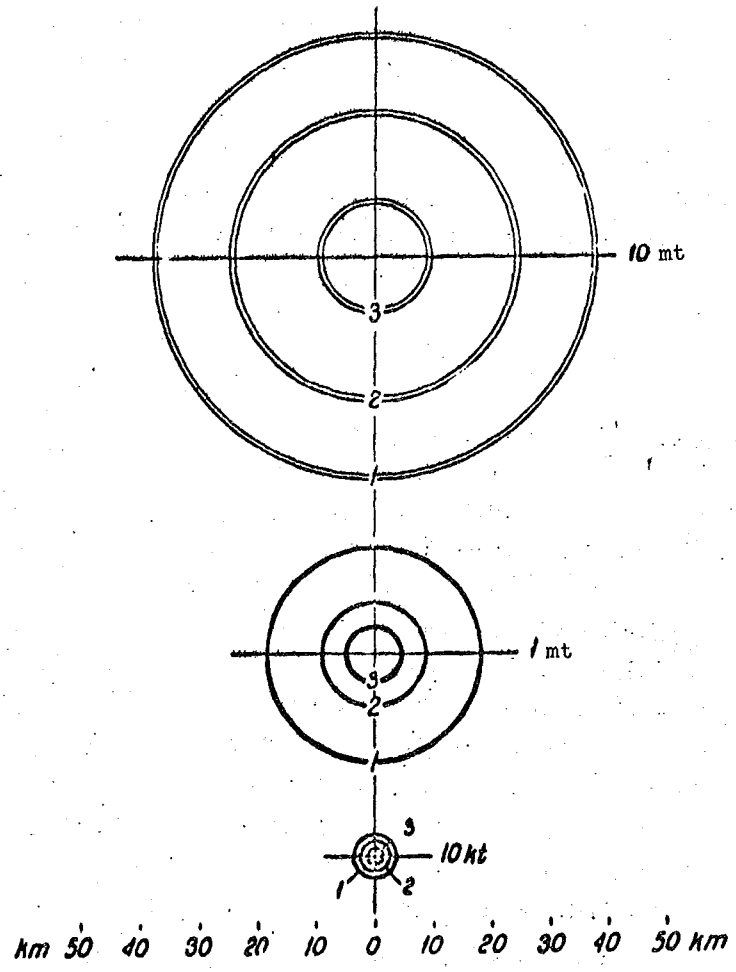
Le radiazioni nucleari, derivanti da un'esplosione nell'atmosfera, possono inoltre essere suddivise per un terzo in radiazioni iniziali, cioè emesse entro minuto dall'esplosione, e per due terzi in radiazioni secondarie o ritardate, cioè emesse in un periodo di tempo molto maggiore. Le radiazioni iniziali possono causare all'uomo malattie da radioattività o morte a secondo della quantità assorbite (vedi Tavola 4). Una dose di 100 rads (*) non ha in generale conseguenze nocive sullo organismo; una dose di 200 rads può produrre alcune alterazioni nella composizione del sangue, mentre una dose di 1.000 rads provoca una malattia da radioattività in 4 ore e la morte in due o tre settimane. Dosi di 400 o 500 rads causano malattie da radiazione, e nel 50% dei casi la morte. Queste stime sono sta

---

(*) - Rad: unità di misura della dose di radiazioni assorbite; corrisponde all'assorbimento di 100 ergs di radiazioni nucleari (o ionizzanti) per grammo di materia o di tessuto assorbente. L'erg è una unità di misura di energia e la si potrebbe definire come il lavoro necessario a sollevare di un centimentro una massa di circa un milligrammo.

FIGURA 10

Variazioni ambientali dovute all'effetto meccanico ed alle radiazioni termiche di esplosioni nell'atmosfera di ordigni rispettivamente da 10 kt, 1 mt e 10 mt.



N°	EFFETTI	10 kt		1 mt		10 mt	
		Dist. km.	Area kmq.	Dist. km.	Area kmq.	Dist. km.	Area kmq.
1	Scottature di 2° grado	2,4	18,1	18,0	1018	38,4	4362
2	Sovrapress. 0,07 kg/cmq	1,6	8,0	8,8	243	19,2	1158
3	Sovrapress. 0,35 kg/cmq	1,2	4,5	4,5	63,6	14,7	680

Tavola 4

Prospetto degli effetti clinici di dosi acute di radiazioni ionizzanti

Intensità	Da 0 a 100 rads	Da 100 a 1.000 rads - Caso clinico (caso in cui la terapia può essere efficace)			Oltre i 1.000 rads (casi mortali)	
Variabilità	-	da 100 a 200	da 200 a 600	da 600 a 1000	da 1000 a 5000	Oltre 5000
Situazione	Caso non clinico	Sorveglianza clinica	Terapia efficace	Terapia promettente	Terapia palliativa	
Vomito	Nulla	100 rads: 5% 200 rads: 50%	300 rads: 100%	100%	100%	
Tempo	-	3 ore	2 ore	1 ora	30 minuti	
Organo principale	Nulla	Tessuto ematopoietico			Tratto gastro-intestinale	Sistema nervoso centrale
Segni caratteristici	Nulla	Leucopenia moderata	Grave leucopenia - Purpura Emorragia-Infezione-Depilazione sopra i 300 rads		Diarrea-Febbre-Disturbi all'equilibrio elettrolitico	Convulsioni - Tremore-Atassia - Letargia
Periodo critico post-esposiz.	-	-	da 4 a 6 settimane		da 5 a 14 giorni	da 1 a 48 ore
Tipo di terapia	Incoraggiante	- Incoraggiante - Sorveglianza ematologica	-Trasfusioni di sangue -Antibiotici	Considerare trapianto midollo osseo	Mantenimento equilibrio elettrolitico	Sedativi
Prognosi	Eccellente	Eccellente	Buona	Riservata	Disperata	
Periodo conval.	Nulla	Molte settimane	Da 1 a 12 mesi	Lungo	-	
Mortalità	Nulla	Nulla	Da 0 a 80% (variabile)	Da 80 a 100% (variabile)	Dal 90 al 100%	
Tempo prima del decesso	-	-	2 mesi		2 settimane	2 giorni
Cause del decesso	-	-	Emorragia - infezione		Collasso circolantorio	Arresto respiratorio - Edema cerebrale

te calcolate in relazione a forti assorbimenti di radiazioni gamma (*); gli stessi effetti sono causati da dosi più leggere di neutroni (vedi Tavola 5)

Tavola 5

Distanze (in km a partire dal punto-zero) in cui un'esplosione atmosferica emette determinate dosi di radiazioni nucleari iniziali (*)					
Dosi di radiazioni	Potenza dell'esplosione				
	1 kt	10 kt	100 kt	1 mt	10 mt
100 rads	1,12	1,6	2,1	2,9	3,8
500 rads	0,96	1,3	1,8	2,4	3,4
1000 rads	0,80	1,12	1,6	2,24	3,2

(*) - Nel caso di un'esplosione al suolo le distanze per le corrispondenti dosi di radiazioni sarebbero più ridotte.

Le radiazioni nucleari iniziali, originate da un'e-

(*) - Raggi gamma (o radiazioni gamma): radiazioni elettromagnetiche di elevata energia che accompagnano molte reazioni nucleari, quali la fissione e la fusione; i raggi gamma ed i neutroni, ambedue emessi in gran quantità dalla esplosione di una bomba atomica, costituiscono in ultima analisi, quelle che noi finora abbiamo chiamato radiazioni nucleari o emissioni radioattive.

splosione atmosferica, percorrono lunghi tratti nell'aria, ma la loro intensità diminuisce con una certa rapidità all'aumentare della distanza dal punto dell'esplosione. Al contrario delle radiazioni termiche, le radiazioni nucleari passano facilmente attraverso la maggior parte delle barriere fisiche, e sono necessari pesanti strati di materiali per ridurre le intensità delle radiazioni nucleari in proporzioni non nocive; per esempio: ad una distanza di 1,5 km da un ordigno nucleare da un megatone esploso nell'atmosfera, un individuo avrebbe bisogno della protezione di circa 30 cm di acciaio, o 130 cm di cemento per considerarsi relativamente immune dagli effetti delle radiazioni nucleari iniziali. D'altro canto alcuni oggetti opachi, come costruzioni o indumenti protettivi, interposti tra l'esplosione e la cute costituiscono una protezione contro le radiazioni termiche, anche se la costruzione in questione è in seguito distrutta dall'urto, poichè la maggior parte delle radiazioni termiche precedono l'arrivo dell'onda d'urto.

3. Radiazioni nucleari secondarie - Fall-out

Le radiazioni nucleari secondarie o ritardate (*)provengono quasi interamente dalla radioattività dei residui dell'esplosione. La proporzione di queste radiazioni può variare in relazione al tipo di arma nucleare esplosa. Fenomeni meteorologici e forze gravitazionali permettono ai detriti sollevati della bomba di spargersi ampiamente nell'atmosfera. Le particelle più pesanti cadono poi vicino alla zona dell'esplosione scendendo come una leggera nevicata di sabbia, mentre quelle più leggere vengono trasportate lontano dal vento. Sia le particelle pesanti che quelle leggere sono mescolate a prodotti di fissione e sono pertanto altamente radioattive; queste costitui

(*) - Alcune radiazioni secondarie potrebbero essere generate dalla radioattività di materiali nel suolo o di costruzioni come risultato di reazioni nucleari causate dalla cattura di neutroni in tali materiali, dopo l'esplosione nucleare. Questo fenomeno va sotto il nome di radioattività indotta.

scono il cosidetto "fall-out", contenente alcuni elementi prodotti nella fissione che sono pericolosamente radioattivi per un periodo di tempo relativamente breve, mentre altri lo rimangono per alcuni anni. La prima categoria contribuisce alla maggior parte delle radiazioni esterne dopo l'esplosione, ma contribuisce anche alle radiazioni interne tramite lo iodio-131, che, se assorbito dal corpo, si concentra nella tiroide. Nella seconda categoria più duratura, o, con termine fisico, avente un "tempo di decadimento" molto più lunto, lo Stronzio-90 e il Cesio-137 sono i più importanti elementi prodotti nella fissione che portano alla contaminazione radioattiva degli alimenti umani.

La possibilità che il fall-out possa contaminare aree molto estese dipende dalla potenza dell'esplosione, dalla altezza a cui l'esplosione ha luogo, dal tipo di vento che soffia nella regione al momento dell'esplosione, nonchè delle precipitazioni nell'atmosfera (vedi Figura 11). Questa regione può essere dell'ordine di 50 kmq per un'esplosione di 20 kilotoni vicino alla superficie terrestre. In questo caso le scorie dell'esplosione si troverebbero sopratutto negli strati bassi dell'atmosfera e la metà di esse verrebbe eliminata soprattutto per la caduta della pioggia, dopo un periodo di circa 3 o 4 settimane - sebbene alcune di queste scorie potrebbero girare una o due volte attorno alla terra prima di depositarsi.

Per un'esplosione da 10 mt sulla superficie terrestre, si potrebbe avere una estensione di intenso fall-out per 500-600 km dal punto dell'esplosione. Se tale esplosione dovesse avvenire al disopra della superficie terrestre, una quantità considerevole di scorie potrebbe essere trasportata nella stratosfera ed in tal caso occorrerebbero mesi, o persino anni, prima che una parte ricada sulla terra; ma nel frattempo una larga parte dei nuclei radioattivi prodotti dall'esplosione si sarebbero disintegrati.

In un particolare esperimento, in cui un ordigno da 15 megatoni venne fatto esplodere sull'atollo di Bikini, il fall-out che ne risultò, contaminò seriamente un'area che si e-

stendeva in lunghezza per 530 km nella direzione del vento e con una larghezza che si aggirava sui 100 km; rimase inoltre contaminata seriamente anche una regione nella direzione opposta a quella del vento, per un'estensione di 30 km dal punto - zero. Un'area totale di circa 10.000 kmq fu quindi contaminata in misura tale che la sopravvivenza sarebbe dipesa solo dall'esistenza di misure protettive, o dall'evacuazione dell'area stessa. La Figura 12 mostra l'intensità stimata delle dosi di radiazioni che riceverebbe un individuo senza protezione, a varie distanze, 96 ore dopo l'esplosione. Poichè un'intensità di 700 rads, ripartita in un periodo di 96 ore, sarebbe probabilmente fatale nella maggior parte dei casi ne consegue che, per questa particolare esplosione, si sarebbe avuta una radioattività su una striscia di 270x56 km in grado di minacciare la vita di quasi tutti gli individui che fossero rimasti nell'area senza protezione per almeno 96 ore. A distanze più grandi si sarebbero avuti molti casi di malattia con incapacità temporanee.

Le radiazioni secondarie, liberate dal decadimento delle scorie nucleari, possono aumentare di alcune centinaia di volte la radioattività normalmente presente in una certa area e potrebbero impedire seriamente operazioni locali di soccorso e di salvataggio. A parte il rischio diretto che deriva agli esseri umani per queste ulteriori radiazioni, c'è anche un rischio indiretto dovuto alla forte contaminazione da fallout del suolo, della vita vegetale e delle sorgenti di acqua, che si ripercuote poi sui prodotti alimentari assorbiti. Nello esperimento surriportato, le persone esposte sull'atollo di Rongelap, distante 160 km dal luogo dell'esplosione, soprattutto bambini, ricevettero alte dosi di radiazioni alla tiroide per radiazioni interne dovute all'ingerimento di cibi contenenti iodio radioattivo. Le riserve di acqua possono essere rese temporaneamente inutizzabili. Questi pericoli, diretti e indiretti si aggiungono ai danni materiali immediati di un'esplosione nucleare causando malattie da radiazioni e morte per quella parte della popolazione che, trovandosi agli estremi dell'area di immediato pericolo, sembrerebbe dover altrimenti sopravvivere all'esplosione; infatti perdite umane potrebbero verificarsi a distanze in cui gli effetti fisici immediati dell'e-

FIGURA 11

Contorni dell'estensione totale del fall-out immediato ad 1 ora, 6 ore, 18 ore dopo, la esplosione al suolo di una bomba a fissione nucleare da 1 mt (velocità effettiva del vento = 24 km/h). L'intensità delle radiazioni è misurata in roentgens (R). Un roentgen di radiazioni gamma corrisponde all'assorbimento di circa 87 ergs per g d'aria.

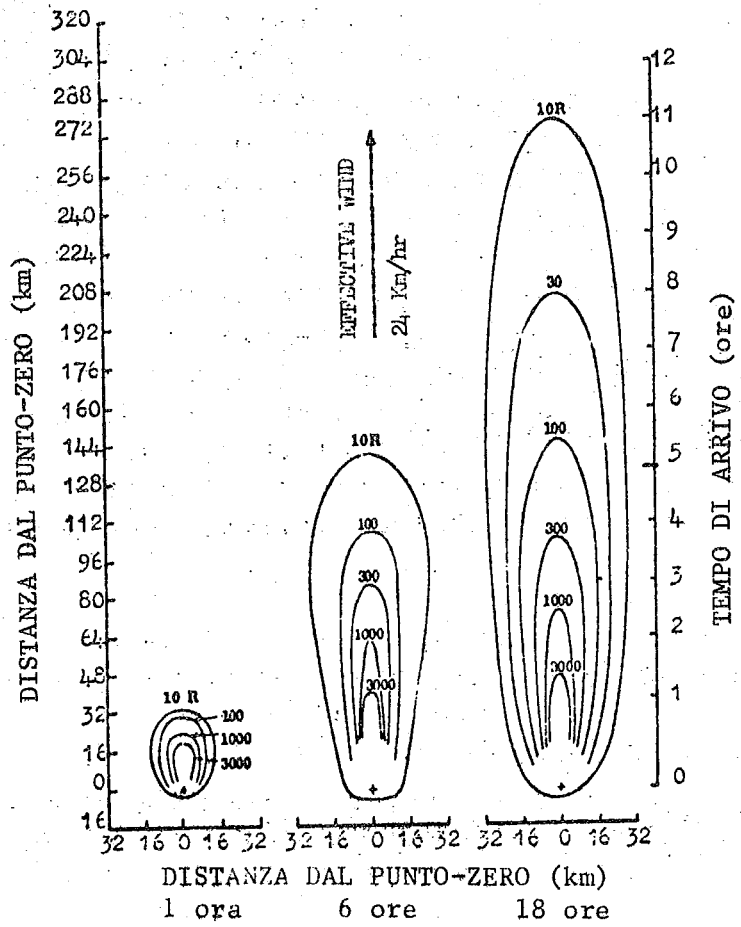
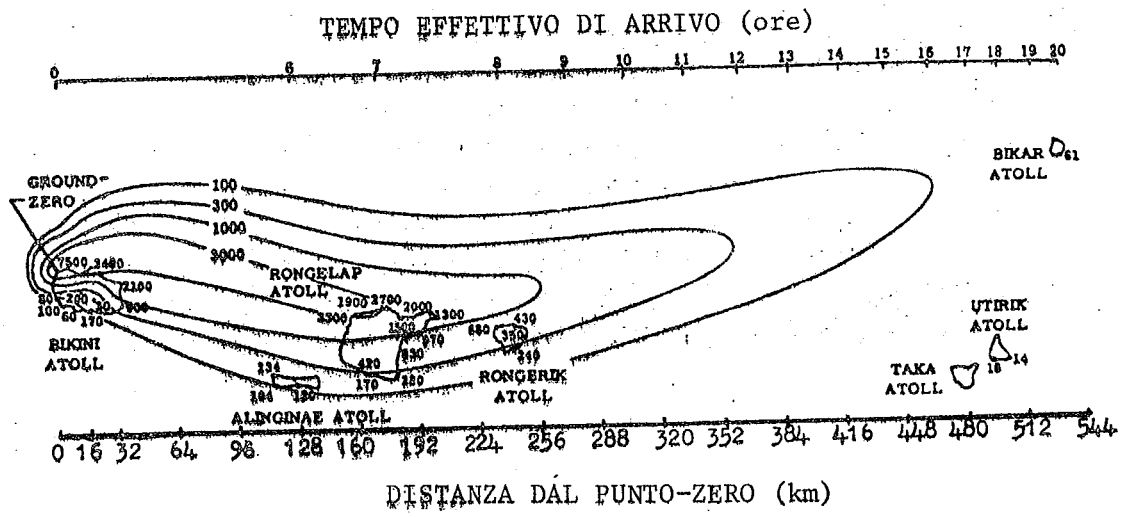


FIGURA 12

Curve di dose totale di esposizione calcolata in roentgens, 96 ore dopo l'esplosione di un ordigno nucleare (esperimento BRAVO)



splosione sono totalmente assenti.

Si è calcolato che un ipotetico attacco nucleare di 10.000 megatoni esplosi al suolo, potrebbe distruggere in soli 60 giorni l'80% della popolazione degli Stati Uniti, qualora non fossero prese misure di protezione; mentre un attacco di 20.000 megatoni potrebbe coprire l'intero paese con un fall-out radioattivo tale da uccidere il 95% della popolazione senza protezione. Allo stesso modo nell'URSS, che ha una superficie maggiore di quella degli USA, un attacco di 10.000 megatoni potrebbe spazzare il 75% della popolazione, mentre uno di 20.000 megatoni potrebbe portare la percentuale delle perdite fra la popolazione intorno al 90%.

Il fall-out proveniente da esplosioni nucleari contribuisce in modo determinante alla contaminazione del nostro ambiente naturale. Il tasso di fall-out sulla superficie terrestre dipende da un certo numero di fattori, ed in particolare dal quantitativo totale di materiali radioattivi che restano nella stratosfera. Qualunque dispersione di scorie radioattive nella stratosfera, risultante da un'esplosione nucleare di grossa entità, è seguita, dopo un certo periodo di tempo, da un aumento del tasso di fall-out all'incirca proporzionale alla quantità dispersa. In assenza di altri esperimenti nucleari nell'atmosfera, la presenza di elementi radioattivi nella stratosfera diminuisce progressivamente, e corrispondentemente diminuisce la quantità di fall-out. I tassi globali di deposizione sono stati ben analizzati in una serie di pubblicazioni del Comitato Scientifico delle Nazioni Unite sugli Effetti delle Radiazioni Ionizzanti. Queste pubblicazioni si riferiscono a studi condotti fin dall'inizio degli esperimenti nucleari e continuati durante gli anni in cui l'opinione pubblica era preoccupata per i pericoli a lungo termine delle radiazioni, cioè negli anni intorno al 1950 e 61-62 di intense prove sperimentali, prima che entrasse in vigore del trattato sull'interdizione degli esperimenti nucleari del 1963. Sebbene questo trattato proibisca qualunque ulteriore esperimento di armi nucleari nell'atmosfera, sono state fatte alcune esplosioni sperimentali da due paesi che non hanno sottoscritto il trattato. Tuttavia il Comitato Scientifico delle Nazioni Unite ha segnalato

che nel 1966 gli esperimenti atmosferici nell'Asia Centrale di quell'anno avevano contribuito solo in maniera trascurabile ad aumentare il tasso di radioattività, relativamente a quella già esistente, dovuta a dispersioni precedenti di scorie nucleari nella stratosfera.

II. ESPLOSIONI SUBACQUEE

1. Effetti fisici

Nelle esplosioni nucleari subacquee come in quelle atmosferiche si forma una palla di fuoco e la rapida espansione di gas ad alta temperatura dà origine ad un'onda d'urto. Ma in questo caso la palla di fuoco è molto più piccola e non è visibile che al momento in cui la bolla di gas caldi ad alta pressione e di vapore raggiunge la superficie dell'acqua. L'onda d'urto genera una cupola di vapori che si eleva al di sopra del punto di esplosione; l'altezza della cupola e il suo tempo di elevazione dipendono dalla potenza dell'ordigno e dalla profondità in cui ha avuto luogo l'esplosione.

Le radiazioni termiche emesse dalla palla di fuoco sott'acqua vengono assorbite dall'acqua circostante. Così avviene anche per le radiazioni nucleari iniziali, sebbene non appena la palla di fuoco raggiunge la superficie, le radiazioni gamma emesse dai prodotti di fissione nella colonna d'acqua e nella susseguente nube radioattiva costituiscano una sorta di radiazione iniziale. Il fall-out originato dalla nube e dalla colonna d'acqua vaporizzata che si eleva dalla superficie, è la causa delle radiazioni nucleari residue o ritardate. Pertanto, dato che in questo caso le radiazioni nucleari iniziali rimangono mescolate con continuità a quelle emesse dopo un certo periodo di tempo, ha meno senso la distinzione tra radiazioni iniziali e secondarie che veniva fatta nel caso di esplosioni atmosferiche.

Dopo un'esplosione nucleare subacquea, la maggior parte degli elementi radioattivi rimasti nell'acqua e sul fondo, si troveranno inizialmente nelle vicinanze del luogo dell'esplosione. La Tavola 6 mostra la velocità con cui si diffonde il materiale radioattivo e la relativa diminuzione della quantità di radiazioni in seguito all'esplosione su una zona sottomarina sabbiosa a bassa profondità fatta nel Pacifico nel 1946.

Per esplosioni in acque profonde, una parte di radioattività può arrivare alla superficie per diffondersi rapidamente in profondità e all'esterno, per cui si riducono i rischi per le persone.

La radioattività, che cade da una nube che si eleva sopra il mare si propaga molto più lontano dal punto-zero di quella dovuta alla colonna causata dall'esplosione o di quella trasportata dall'acqua. Le scorie del fall-out si mescolano rapidamente con l'acqua, e, dato che l'acqua assorbe (o attenua) considerevolmente la radiazione, il pericolo della radioattività è molto minore di quello che deriva dallo stesso fall-out sul suolo. Il materiale radioattivo che viene gradualmente trasportato lontano dalle correnti e, se queste sono note, si può prevedere il cammino dell'acqua contaminata.

Tavola 6

Superfici contaminate e tasso di radiazioni rilevate dopo la esplosione subacquea effettuata a Bikini nel 1946 di un ordigno da 20 kilotoni							
Tempo dopo l'esplosione (ore	4	38	62	86	100	130	200
Diam. medio della sup. contaminata (km)	7,3	7,6	12,0	13,6	15,2	18,4	20,8
Tasso max di radioattività (rads/h)	3,1	0,42	0,21	0,042	0,025	0,008	0,004

CAPITOLO III

RIFLESSI ECONOMICI DELL'ACQUISIZIONE E DELLO SVILUPPO DI ARMI NUCLEARI

Introduzione

La preoccupazione manifestata per lo sviluppo e la proliferazione delle armi nucleari proviene non solo dagli effetti disastrosi derivanti dal loro uso, ma anche dalla consapevolezza che le immense risorse destinate alla loro produzione potrebbero invece essere impiegate, secondo il preambolo della carta delle N.U.: "per promuovere il progresso sociale e instaurare migliori condizioni di vita in un regime di maggiore libertà".

Per comprendere i riflessi economici della costituzione di una forza nucleare, è necessario conoscere la quantità e il genere delle risorse che tale impegno richiede. La valutazione va fatta non solo in funzione delle risorse materiali e finanziarie impiegate, ma anche considerando le altre possibilità a cui si deve rinunciare per poter dedicare le suddette risorse ad armi distruttive. Non è però facile ottenere le informazioni adeguate, ed ogni valutazione non può avere che un valore indicativo.

Ogni tentativo di qualsiasi entità esso sia, produrrà conseguenze economiche, che varieranno in relazione alla consistenza industriale e nucleare su cui può basarsi il programma; inoltre, una caratteristica della corsa agli armamenti è che nessun tipo di programma è mai completamente sufficiente. Anche se fosse possibile stabilire un limite all'entità di un valido arsenale di testate nucleari, il loro sistema di lancio e la difesa delle relative basi richiederebbero uno sforzo continuo.

L'ampiezza e il tempo richiesto da ogni programma dipendono dal potenziale scientifico del paese e dalle sue capacità tecnologiche ed industriali.

Le capacità tecniche e scientifiche permettono ad uno stato di risolvere i seguenti problemi :

a) - Produzione di materiale fissile e di altro genere per poter far fronte alle caratteristiche, e assai stringenti e

sigenze di un programma nucleare militare;

b) - Montaggio e collaudo delle testate;

c) - Sviluppo e controllo dei veicoli di lancio, siano essi missili o aerei, in un efficace sistema operativo.

Tutto ciò richiede personale costituito da fisici, chimici, operai metallurgici, matematici, ingegneri, operatori specializzati di macchine utensili, elettrotecnici, saldatori, lavoranti di lamiere metalliche, tecnici per l'istallazione di caldaie e di impianti chimici, meccanici in strumenti di precisione, che sono indispensabili per fabbricare e montare le diverse componenti con le relative tolleranze.

La capacità industriale è misurata dalla consolidata esperienza di un paese in settori di tecnologia avanzata, quali l'energia nucleare, l'aviazione, la tecnica elettronica e spaziale.

Per quanto riguarda gli esempi dei costi riportati in seguito, sono stati presi in considerazione come base i paesi che già sono in possesso dei requisiti di cui sopra. Bisogna perciò ritenere che i costi sarebbero notevolmente più elevati per i paesi meno sviluppati, i quali debbono dedicare maggiori sforzi alla costituzione di queste condizioni di base necessarie.

Si deve altresì ricordare che, se lo sviluppo di armamenti nucleari da parte di un paese industrialmente sviluppato significherebbe il trasferimento di risorse da attività che migliorerebbero un tenore di vita già di per sè abbastanza elevato, lo stesso processo da parte di un paese in via di sviluppo deve essere compiuto a scapito dei basilari bisogni economici di una parte considerevole della popolazione.

I costi valutati, suffragati da alcune cifre reali, per una prima generazione di armi nucleari semplici con un sistema di lancio non complesso indicano che l'acquisizione di un tale sistema può essere alla portata solo di un certo numero di nazioni.

Queste cifre, peraltro, perdono molta della loro credibilità anche per un paese industrializzato, se con esse si intende rappresentare un limite massimo valido per un considerevole periodo di tempo. In effetti, dopo l'acquisizione di un sistema iniziale e semplice di armamenti nucleari, si avverte inevitabilmente la necessità di sviluppare sistemi di lancio meno vulnerabili e più complicati. Sicchè appare chiaro che il costo totale per raggiungere un sistema di armamento nucleare nell'arco di 10 anni sia tale, in presenza di determinate condizioni, da avvicinarsi piuttosto ai costi enunciati per i sistemi nucleari della Francia e della Gran Bretagna fino al 1969 , cioè da 8 a 9 miliardi di dollari, che non alla cifra da 1,7 a 2 miliardi di dollari, calcolata qui per un sistema semplice. (Ogni sistema che impieghi mezzi di lancio non ortodossi, quali navi o aerei commerciali, non è stato preso in considerazione, in quanto considerato un mezzo verso cui nessuna nazione si indirizzerebbe).

I dettagli che seguono mostrano da un lato, che il costo della produzione delle armi può essere probabilmente valutato con una discreta precisione, almeno nei Paesi aventi attività nucleari sviluppate a scopi pacifici; d'altra parte l'esperienza ha dimostrato che la maggior parte dei costi per una forza nucleare dipende dal sistema di lancio e in particolare dai missili, e questi sono soggetti ad un'obsolescenza accentuata e ad un continuo costoso rinnovamento.

In conclusione lo sviluppo autonomo di una forza nucleare richiede non solo grandi mezzi finanziari, ma risorse umane altamente qualificate, la cui importanza può essere anche maggiore.

I. COSTO DELLE ARMI NUCLEARI PROPRIAMENTE DETTE

1. I materiali fissili

I materiali che vengono utilizzati per la fabbricazione di esplosivi nucleari sono: l'uranio - 235 (U-235), il plutonio - 239 (Pu-239) e l'uranio 233. Questi isotopi posseggono le principali caratteristiche richieste, cioè: vita media lunga, probabilità sufficientemente alta di fissione stimolata e bassa probabilità di fissione spontanea. Da quanto risulta l'U-233 non sembra che sia mai stato usato per la fabbricazione di esplosivi nucleari, per questo il suo costo non sarà considerato.

2. Uranio - 235

L'Uranio naturale, che contiene sopratutto U-238, ha una percentuale di U-235 dello 0,7%. Per poter essere usato come esplosivo nucleare l'U-235 deve essere separato e concentrato ("arricchito") al 90-95%, e parecchi procedimenti, come la diffusione gassosa, la diffusione termica e la separazione elettromagnetica, sono stati messi a punto per questo scopo. Fra questi solo il processo di diffusione termica e la separazione elettromagnetica furono usati negli USA per lo sviluppo delle prime armi nucleari, e furono ben presto abbandonati dopo la seconda guerra mondiale per i loro alti costi (il totale degli investimenti impiegati dagli Stati Uniti per questi due metodi fu di circa 640 milioni di dollari).

La centrifugazione del gas, che potrebbe essere un efficace mezzo per ottenere separazione dell'U-235, è ancora allo stadio sperimentale.

Il processo di diffusione gassosa è usato oggi in Francia, Gran Bretagna, Stati Uniti e si pensa che venga usato anche nell'Unione Sovietica ed in Cina. Questo metodo comporta

circa 4.000 fasi di arricchimento e richiede vasti e costosi macchinari prodotto di una tecnologia avanzata. L'esatta tecnologia è in gran parte tenuta segreta. La Unites States Atomic Energy Commission (USAEC) possiede oggi tre impianti di questo tipo; il primo è costato sui 1.000 milioni di dollari, mentre gli altri due sono costati complessivamente 1.300 milioni di dollari; si è stimato che il costo di uno di questi impianti di tipo economico si aggira sui 750-1.000 milioni di dollari.

La capacità globale di separazione di questi tre impianti è stata recentemente rivelata dalla USAEC. La produzione totale di U-235 altamente arricchito si avvaleva di circa 17 milioni di kilogrammi all'anno di uranio naturale - essendo la percentuale di U-235 contenuta nel residuo non utilizzabile dello 0,2531%. Se annualmente i costi di gestione ammontano a 500 - 600 milioni, il corrispondente costo unitario di separazione per kg viene ad essere di circa 30-35 dollari.

L'U-235 prodotto è di 4,5% per un kg di uranio naturale, e il costo del lavoro di separazione è di circa 6.700 - 7.800 dollari per kg di U-235, oppure un costo complessivo che oscilla fra gli 11.000 e i 12.000 dollari per un kg di U-235 estratto dall'uranio naturale del costo di 20 dollari al kg. I costi qui riportati concordano con una dichiarazione fatta dal Forum Study Comitee on Tool Enrichment, secondo cui il costo delle operazioni di separazione nei nuovi impianti a diffusione degli USA non deve superare i 30 dollari per kg di uranio naturale sottoposto ad arricchimento nell'anno a venire, sia che questi impianti siano di società private che dell'USAEC.

Circa 25 kg di uranio per usi militari sono necessari per la produzione di una testata nucleare di circa 20 kilotoni. (l'U-235 è preferito al plutonio per la costruzione di armi termonucleari).

D'altro canto è preferibile l'uso della centrifugazione del gas per la produzione di piccole quantità di U-235. Ma la maggior parte dei paesi che fanno delle ricerche sulla centrifugazione tengono segrete tutte le conoscenze tecniche

acquisite fino ad oggi in questo campo; è questo il motivo delle scarse informazioni sui recenti progressi fatti in questo campo e sul prezzo di costo, eccezion fatta per quelle che si riferiscono alla macchina Zippe. Un impianto capace di produrre 50 kg all'anno di U-235 arricchito al 90%, secondo queste notizie, costa su 120 milioni di dollari ed ha un costo annuo di esercizio di circa 13 milioni. Se si considera il 10% di investimenti annui i costi di produzione ammonterebbero a 500.000 dollari per kg di U-235.

3. Plutonio - 239

Il plutonio-239 (Pu-239) viene prodotto in un reattore nucleare sottoponendo l'U-238, contenuto negli elementi di combustibile, ad un flusso di neutroni. Altri isotopi non fissibili del plutonio, in particolare il Pu-240, vengono prodotti contemporaneamente, e la loro percentuale aumenta con il tempo di irradiazione. Nel plutonio per armi nucleari la percentuale non fissile dovrebbe essere del 10% o preferibilmente nulla; il che esige un tasso di combustione al di sotto di 1.000 MWD/tu. C'è ancora da dire che il tasso di combustione nei reattori di potenza ad uranio naturale è di un ordine di grandezza più elevato.

Si è calcolato che occorrerebbero circa 8 kilogrammi di Pu-239 al 95% per la costruzione di un'arma nucleare di circa 20 kilotoni. Un impianto completo per la produzione di Pu-239 richiederebbe necessariamente una raffineria di uranio (e di conseguenza un impianto per la fabbricazione di lingotti metallici), un impianto di fabbricazione di combustibile, un reattore, un impianto per l'estrazione del plutonio, un altro impianto per la riduzione a metallo del plutonio e altri servizi.

I costi di un complesso per la produzione di circa 8 kg all'anno di Pu-239 al 95%, comprendente un reattore di circa 40-50 MWth, raffreddato ad acqua pesante, con una capacità

annuale di trattamento di 20 tonnellate di combustibile naturale metallico, possono essere valutati come segue (Tavola 7) :

Tavola 7

Costi di produzione di circa 8 kg all'anno di plutonio di tipo militare

Impianti	Costi di capitale (Milioni doll.)	Costi annui esercizio (Milioni doll.)
Raffineria e imp. fabbr. lingotti	2,50	1,75
Combust. e fabbr. elem. di combust.	1,50	0,60
Reattore	10,00	1,20
Estrazione del plutonio	1,25	0,17
Fabbricazione del plutonio	0,25	0,18
Impianti di servizio	6,50	0,87
Totale generale :	22,00	4,80 (c.a.)

Per quanto riguarda il reattore, i costi di esercizio e di capitale sono basati su informazioni relative al reattore canadese NRX.

Date le piccole quantità, i costi di estrazione del plutonio sono relativi ad un processo di scambio discontinuo di ioni e non al processo convenzionale di estrazione con solvente impiegato per operazioni più vaste.

E' stato condotto uno studio in Svezia, fatto appunto per questo rapporto, sui costi di produzione di 40-80-160 kg all'anno di Pu-239 per ordigni nucleari. Si è supposto che i reattori per la produzione del plutonio fossero di una potenza compresa fra i 250-500 MWth ed un altro di 350 MWth, impieganti moderatori ad acqua pesante ed alimentati con uranio naturale. Un reattore per la produzione di plutonio usa come elementi combustibili barre di uranio metallico rivestite di alluminio, mentre i reattori di potenza sono alimentati con pastiglie di biossido di uranio rivestite di zircaloy-2. Lo studio non tiene conto degli investimenti in impianti per estrazione e la concentrazione dell'uranio, ed è pertanto basato su un prezzo di 18 dollari al kg di concentrato (U_3O_8) praticato sul mercato libero. La Tavola 8 mostra il caso di un reattore di potenza, e la Tavola 9 quello di un reattore per la produzione del plutonio.

Tavola 8

Costi di produzione di 40 e 80 kg all'anno di plutonio di tipo militare con un reattore di potenza da 350 MWth

	Costi del capitale (Milioni di doll.)		Costi annui di esercizio (Milioni di doll.)	
Produz. plutonio	40 kg/anno	80 kg/anno	40 kg/anno	80 kg/anno
Combustibile impianti per convers.e fabbr. elem. di comust.	5,0	6,0	8,0	15,0
Reattore (costi add. indip. dalla potenza)	1,0	1,0	1,0	2,0
Rigeneraz. e convers. del plutonio	28,0	32,0	3,0	4,0
Totale generale	34,0	39,0	12,0	21,0

Tavola 9

Costi di produzione di 80 e 160 kg all'anno di plutonio di tipo militare con un reattore per la sola produzione di plutonio

	Costi del capitale (Milioni di doll.)		Costi annui di esercizio (Milioni di doll.)	
Tipo di reattore	250 MWth	500 MWth	250 MWth	500 MWth
Produz. di plutonio	80 kg/anno	160 kg/anno	80 kg/anno	160 kg/anno
Combust.,impianti per convers. e fabb. elem. di combust.	4,0	5,0	2,5	3,7
Reattore	33,0	38,0	1,4	1,8
Rigenerazione e convers.plutonio	36,0	40,0	3,5	4,0
Varie	4,0	4,0		
Totale generale	77,0	87,0	7,4	9,5

Sono stati anche considerati i costi della produzione di plutonio per ordigni nucleari ottenuto da una piccola sezione del nucleo di un reattore di potenza da 600 MWe del tipo CANDU, che usa elementi di combustibile classici (supponendo indipendente il costo della produzione di elettricità dalla produzione di plutonio, cioè come se il nucleo completo composto di elementi di combustibile avesse il tasso di combustione massimo. Ciò significa che i costi di esercizio del reattore per la sola produzione di plutonio sono proporzionali ai costi degli elementi combustibili per la produzione di plutonio, almeno nel caso di piccole quantità come 8-40 kg all'anno di plutonio per ordigni nucleari. Si è anche supposto che sia necessario un quantitativo di combustibile pari a 2 tonnellate di uranio all'anno, con un tasso di combustione intorno ai 600 MWd / tU, per produrre 1 kg di plutonio per armi nucleari. I calcoli sono stati inoltre basati supponendo un'attività del reattore di 6.000 ore all'anno, e costi del combustibile e della produzione di elementi combustibili di 72,5 dollari per kg di uranio. Il costo risultante del plutonio prima della rigenerazione potrebbe essere di 133.000 dollari al kg. Prendendo i costi di rigenerazione fatti nello studio svedese, cioè 70 dollari per kg di uranio, si avrà un costo di 270.000 dollari per un kg di plutonio per ordigni nucleari.

La Tavola 10 sintetizza i nostri risultati relativi alla produzione del plutonio. Nella Figura 13 i costi per kg sono messi in funzione della capacità produttiva del reattore.

Tavola 10

Costi di produzione del plutonio metallico di tipo militare

Tipo di reattore	Potenza reattore	Costi del capitale	Costi annui esercizio	Capacità di produzione	Costo per kg. di plutonio (*)
-	MWth	mil. doll.	mil. doll.	Kg-Pu/anno	mil. doll.
A produz.	50	22,00	4,80	8	0,90
A produz.	250	77,00	7,40	80	0,19
A produz.	500	87,00	9,50	160	0,12
Di potenza	600(MWe)	-	-	10-50	0,27
Di potenza	350	34,00	12,00	40	0,39
Di potenza	350	39,00	21,00	80	0,31

(*) - 10% annuale di spesa per gli investimenti.

Secondo i dati pervenuti sui costi per la diffusione gassosa e sulla produzione di Pu-239 (mancando i dati sufficienti concernenti il procedimenti a centrifugazione gassosa) potrebbe sembrare che un paese che desideri costruirsi una o un piccolo numero di armi nucleari all'anno debba preferire quelle al plutonio.

Un programma limitato, che preveda la costruzione di dieci bombe durante un periodo di dieci anni, ciascuna con una potenza di 20 kilotoni, avrà bisogno di 80 kg di plutonio complessivamente. I costi totali corrispondenti per ottenere plutonio da un reattore di 50 KWth di produzione sono di circa 22 milioni di dollari per il costo di capitale e circa 48 milioni di dollari per le spese d'esercizio: complessivamente, cioè, 7

milioni all'anno, ovvero circa 0,9 milioni per kg di pluto - nio.

Se la stessa quantità di plutonio dovesse essere prodotta, insieme alla produzione di elettricità, in un grande reattore di potenza da 600 MWe, il relativo costo totale ammonterebbe a circa 22 milioni di dollari, cioè 2,2 milioni all'anno, ovvero all'incirca 0,27 milioni per kg di plutonio.

Un programma medio, che prevedesse in dieci anni la costruzione di 100 armi del tipo sudetto, basato su un reattore di produzione da 250 MWth con un rendimento di 80 kg di plutonio all'anno, richiederebbe un totale di 151 milioni di dollari, di cui 77 milioni per il costo di capitale e 74 milioni di spese d'esercizio. Il costo annuale corrispondente sarà di 15 milioni di dollari, mentre il costo del plutonio di 0,19 milioni al kg. Raddoppiando la capacità di produzione a 160 kg all'anno - nella previsione di un arsenale di 200 armi in un periodo di dieci anni - ne risulterà in costo di capitale e di esercizio rispettivamente 87 e 95 milioni di dollari; il costo annuale sarà di 19 milioni di dollari e il costo di produzione di plutonio di circa 0,12 milioni per kg.

Dalla Figura 13 si può concludere che la produzione di plutonio, da un grosso reattore di potenza; sarà più onerosa col crescere della produzione.

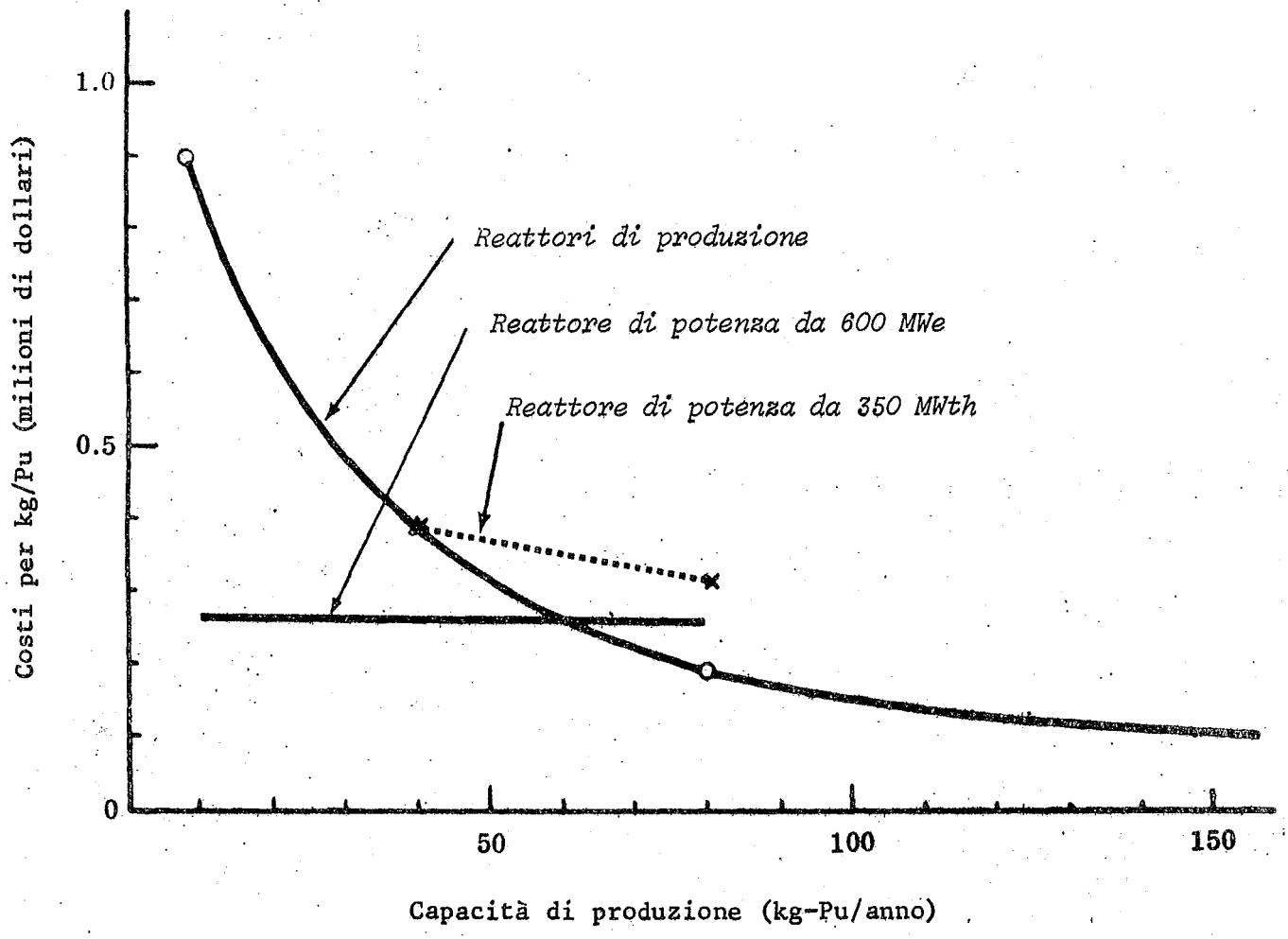
4. Progettazione e fabbricazione

La pubblicazione di notizie sui problemi relativi al montaggio delle armi nucleari sono fortemente limitate dal segreto militare.

Tuttavia possono essere fatte alcune valutazioni molto generali sulla natura del problema. La costruzione di una bomba nucleare comprende procedure come: misurazioni dettaglia

FIGURA 13

COSTI DEL PLUTONIO PER ARMI NUCLEARI
IN RAPPORTO ALLA CAPACITA' ANNUALE DI PRODUZIONE
(10% di spesa annuale per gli investimenti)



te delle proprietà del materiale, progettazione dell'arma, trattamento metallurgico finale dell'esplosivo, fabbricazione del congegno di fusione e di detonazione, ecc. La messa a punto di una bomba al plutonio è poi complicata da diversi fattori, come la complessità delle operazioni metallurgiche, la tossicità e la reattività chimica della carica di metallo. Inoltre la progettazione e la costruzione di cariche sagomate per provocare l'esplosione costituisce, presumibilmente, un problema notevole. Tuttavia un certo numero di paesi possiedono questa tecnologia, poichè cariche sagomate sono usate in armi come il bazooka, per i perforatori, per le tubature dei pozzi di petrolio e per i raccordi conici aperti dei forni a suola (Martin).

Secondo informazioni, il costo del montaggio di due o tre bombe all'anno dovrebbe costare circa 10 milioni di dollari in investimenti di capitale e un costo annuale di esercizio di circa 5 milioni. Invece, secondo il più recente studio svedese, gli investimenti di capitale in un impianto per il montaggio di 10 armi all'anno aumenterebbero a circa 8 milioni di dollari e il costo di esercizio a circa 1 milione.

5. Sperimentazione

Senza la completa conoscenza delle esigenze cui un paese deve far fronte per un primo programma di esperimentazioni, i costi per gli esperimenti possono essere calcolati solo in maniera molto generale.

I fattori che devono essere considerati da un paese che intenda compiere il suo primo esperimento nucleare sono :

a) l'ambiente dell'esperimento, cioè sopra o sotto la superficie terrestre, o sott'acqua;

b) le caratteristiche dell'esplosione;

c) gli esperimenti sugli effetti della bomba che si vogliono fare.

Sono gli esperimenti sopra, o vicino, alla superficie terrestre (in palloni o su torri, a caduta libera o col lancio di missili) che forniscono il maggior numero di dati al costo più basso. Il costo assoluto dipenderà tuttavia in gran parte dalla complessità dell'esperimento che si prepara, dai costi logistici e dal numero delle persone impiegate, ed è perciò molto difficile da stabilire con esattezza.

Una nazione firmataria del trattato parziale sulla interdizione degli esperimenti nucleari si è impegnata a compiere i suoi esperimenti sottoterra: in un foro scavato appositamente, o in una miniera. Alcuni dati sui costi di questi esperimenti saranno dati in seguito.

Un esperimento con una bomba da 20 kilotoni richiede una perforazione (OK) 3.400 m di profondità, e 2,3 m di diametro. Negli Stati Uniti il costo per un simile foro nel tufo asciutto è stato di 350.000 dollari, ma un simile scavo in altre condizioni potrebbe facilmente raddoppiare di costo.

Si devono poi aggiungere i costi di consolidamento per prevenire eventuali sfoghi. Si sa tuttavia che pochi paesi sono in grado di avere attrezzature per scavi così profondi e con quel diametro. L'informazione più semplice, che gli sperimentatori possono ricavare da un'esplosione sotterranea potrebbe consistere in una grossolana determinazione della potenza dell'ordigno. Una buona determinazione, con un margine d'errore di circa ± 40%, si potrebbe avere usando sismometri di superficie nelle vicinanze del punto-zero, e verrebbe a costare poche migliaia di dollari. Una determinazione con un margine d'errore di circa ± 20% può essere ottenuta facendo una serie di fori, disposti radialmente intorno alla sede della bomba, per installarvi sismometri e accelerometri. In questo caso i rilevamenti verrebbero a costare alcune centinaia di migliaia di dollari.

Ma la migliore determinazione della potenza si può ottenere scavando di nuovo nelle vicinanze dell'esplosione, e sot

toporre ad analisi radio-chimiche i detriti dell'ordigno. Questa metodo può divenire facilmente tanto costoso quanto lo scavo di un altro foro. L'esplosione Long Shot, effettuata nell'Isola di Amchitka nel 1965, per la calibrazione sismologica dell'area delle Aleutine, è un buon esempio dei costi (escluso lo ordigno esplosivo) di questo tipo di esperimenti effettuati in una regione remota. I costi sono riportati nella seguente tavola.

Tavola 11

Costo dell'esperimento "Long Shot"

Lavori ed impianti fatti	Costo (milioni doll.)
Lavoro di esplorazione per determinare l'utilizzabilità dell'area	2,61
Installazione della base	4,50
Scavo e consolidamento	1,87
Impianto per l'installazione nel foro	0,16
Spese varie	1,52
T o t a l e :	10,66

A titolo di confronto, si può ricordare che il centro sperimentale della USAEC nel Nevada richiese un investimento di 150 milioni di dollari e che dal luglio 1965 al 30 giugno 1966, spese circa 200 milioni di dollari per esplosioni sotterranee, escluso il costo dei materiali fissili usati.

Sarebbe presumibilmente meno costoso condurre gli esperimenti in una miniera, dato che in questo caso vi sarebbe bisogno solo di piccoli nuovi scavi necessari all'installazione di pozzi ausiliari e della camera d'esplosione. Le misure relative alle caratteristiche dello ordigno potrebbero essere effettuate per mezzo di apparecchiature installate nella camera d'esplosione; la potenza verrebbe poi determinata tramite misurazioni idrodinamiche. Registrando il tasso di liberazione di energia, cioè il cosidetto "Alpha", si potrebbe ottenere una quantità minima di informazioni sul comportamento e sul funzionamento dell'ordigno. I costi di un esperimento effettato di una miniera sono stati riportati nella Tavola 12.

Tavola 12

Costo di un esperimento sotterraneo condotto in una miniera

Lavori, impianti, varie	Costi (dollari)
Installazioni per l'accesso alla miniera	70.000
Intelaiature per lo scavo e l'installazione dell'ordigno	130.000
Installazione dei pozzi e delle gallerie	1.156.000
Camera di esplosione	60.000
Installazione e messa a punto degli strumenti	55.000
Installazione e funzionamento dei dispositivi di ritardo e di accensione	50.000
Installazione dell'ordigno	10.000
Imbotittura	400.000
Direzione tecnica	90.000
Amministrazione	160.000
T o t a l e	2.182.000

Da questi dati sono esclusi il costo dell'ordigno, il materiale ed i dispositivi di registrazione, il sistema di regolazione e di accensione; il tutto è stato calcolato basandosi sui costi per costruzioni simili fatte nel poligono statunitense del Nevada.

Secondo i calcoli svedesi il costo totale per la sperimentazione di un ordigno da 20 kilotoni nel sottosuolo potrebbe ammontare a circa 12 milioni di dollari, mentre il costo per la sperimentazione di quattro di questi ordigni sarebbe di 15 milioni. Relativamente ai costi dell'esperimento "Long Shot" (Tavola 5), ed ai calcoli relativi ad un esperimento in miniera, il costo valutato dagli svedesi può essere ritenuto abbastanza realistico.

II. COSTO DEI VARI TIPI DI PROGRAMMI PER LA PRODUZIONE DI ARMI NUCLEARI

1. Programma per la produzione di testate nucleari al plutonio

Basandosi sulle cifre già menzionate relative alla produzione di plutonio, alla progettazione dell'ordigno, alla sua fabbricazione e sperimentazione, i costi complessivi di un programma limitato (produzione di un'arma da 20 kt all'anno, per un periodo di 10 anni), e di un programma medio (10 armi da 20 kt all'anno per un periodo di 10 anni), sono quelli riportati nella Tavola 13. Il programma limitato verrà a costare 11 milioni di dollari all'anno, cioè 11 milioni per ordigno, mentre il programma medio verrà a costare 20 milioni di dollari all'anno, per cui il costo di ogni ordigno sarà di 2 milioni. Se il programma limitato potesse essere effettuato con la produzione di plutonio in un grande reattore di potenza, il costo annuale potrebbe essere abbassato a 6 milioni di dollari e quindi il costo per ogni arma a 6 milioni.

Tavola 13

Costi dei vari programmi di produzione di testate a base di plutonio

	Programma limitato (stima) (10 ordigni da 20 kt in 10 anni)		Programma medio (stima) (100 ordigni da 20 kt in 10 anni)	
	Costi di capit.	Costi di eserc. per 10 anni	Costi di capit.	Costi di eserc. per 10 anni
	(milioni di dollari)		(milioni di dollari)	
Plutonio metallico	22,0 (0,0) b/	48,0 (22,0) b/	77,0	74,0
Messa a punto e fabbricazione	8,0 (8,0) b/	10,0 (10,0) b/	8,0	10,0
Sperimentazione		12,0 c/ (12,0) b/		15,0 d/
Magazzinaggio e manutenzione		4,0 (4,0) b/		4,0
Totale	30,0 (8,0)	74,0 (48,0) b/	85,0	103,0
Totale generale	104,0 (56,0) b/		188,0	
Media annuale	11,0 (6,0) b/		19,0	
Costo per ordigno	11,0 (6,0) b/		1,9	

a) - Cifre dalla tavola I
b) - Cifre dalla tavola I. Grande reattore di potenza da 600 MWe
c) - Un solo esperimento (stima svedese)
d) - Quattro esperimenti (stuma svedese)

2. Programma di produzione comprendente testate termonucleari

La progressione dei costi totali di produzione di armi nucleari, risultante dalla costruzione e messa a punto di un impianto a diffusione per l'arricchimento dell'U-235 e lo sviluppo e la sperimentazione di armi termonucleari, è mostrata efficacemente dall'esempio francese riportato nella Tavola 14 (l'impianto a diffusione gassosa fu costruito dopo il 1960)

Tavola 14

Costo del programma francese di produzione di testate termonucleari.

	Materiale fissile	Progettazione fabbricazione	Sperimentazione	Totale
	(in milioni di dollari)			
Al 1960	160	40	40	240
1960-1964	880	460	300	1.640
1965-1970	(Dettagli non specificati)			3.180
Tot. gen.	1.040 (al '64)	500 (al '64)	340 (al '64)	5.060

III. COSTO DEI MEZZI DI LANCIO E DEI VETTORI

1. Considerazioni generali

La premessa fondamentale, alla base di questo rapporto, è che le armi nucleari servono per raggiungere obbiettivi militari e politici, fatto questo che richiede la credibilità e l'efficacia di tali armi; per questo non sono stati presi in considerazione metodi consistenti nel raccogliere o nascondere in territorio nemico armi nucleari, nel trasportarle con navi o per mezzo di aerei commerciali, o altri tentativi non ortodossi. Le ipotesi di questo studio sono pertanto limitate a bombardieri in grado di trasportare testate nucleari, o a missili balistici che possono avere un ruolo "strategico". Oltre i mezzi di lancio ed ai vettori, si debbono inoltre considerare le basi indispensabili, i poligoni di lancio, le infrastrutture (servizi d'appoggio, di manutenzione e logistici, mezzi di difesa, ecc.) nonché i sistemi di comando, di comunicazione e controllo, per costituire una forza di valore militare e politico che garantisca un uso non autorizzato o accidentale.

La potenza e le caratteristiche fisiche dell'ordigno nucleare, determineranno l'ordine di grandezza del vettore (cioè un'arma relativamente piccola e perfezionata potrà essere usata in piccoli vettori). Le caratteristiche degli obiettivi nemici e il genere di difesa impiegata a proteggerli avranno un ruolo di primo piano nel determinare il tipo di mezzo di lancio o vettore e la precisione del tiro. Si dovrà provvedere ad apprestare per queste forze nucleari un sistema di difesa avanzato: nel caso di flottiglie di bombardieri, prevedere la difesa antiaerea, l'intercettazione, la dislocazione degli aereoporti ecc., nel caso di missili costruire blindature o sistemi mobili.

Nel riportare i costi di un programma non bisogna dimenticare di includere: l'acquisizione propriamente detta dei

sistemi di vettori, la costruzione di tutto il sistema di appoggio discusso sopra, e i costi di esercizio e di manutenzione. Nel caso dei bombardieri saranno anche necessarie attrezzature di appoggio e di servizio come: aereoporti, aerei da rifornimento, vasti sistemi di manutenzione e riparazione, ecc. nel caso di missili sono richiesti poligoni ed impianti di manutenzione e di riparazione. I sommergibili con missili balistici richiedono un loro speciale sistema di appoggio formato da cantieri e/o navi scorta. Si possono ottenere veicoli da trasporto ad un prezzo relativamente basso acquistando vecchi aerei ma in compenso si avranno costi di esercizio più alti. Un sistema di missili avrà dei costi di esercizio più bassi di quelli dei bombardieri, compensati però dai costi d'acquisto generalmente più alti.

D'altro canto, bisogna considerare anche i costi necessari per mantenere efficienti queste forze nonostante il loro invecchiamento - dovuto in parte alle contromisure messe in atto a causa del loro spiegamento. Questi costi riguardano la modernizzazione dei vettori impiegati, come, per esempio, l'adattamento delle forze aeree per far fronte alla difesa aerea dell'avversario, o la loro sostituzione con nuove generazioni di mezzi.

La previsione dei costi per i veicoli di lancio e per i vettori notoriamente non si è mai rivelata esatta. Pesanti aumenti delle spese previste non costituiscono certo eccezioni, e sono da porsi in relazione ai forti ritardi sui tempo programmati. Esistono molti casi di impiego di sistemi di armamento estremamente costosi, ma soggetti ad una precoce obsolescenza, che hanno dovuto essere ritirati poco tempo dopo la loro apparizione. Inoltre si può affermare in generale, sebbene non sia sempre vero, che l'esattezza nella valutazione dei costi e dei tempi è il risultato di esperienze precedenti già acquisite in questo campo. Di conseguenza si incorre più facilmente in errori di previsione quando un paese si trova ad affrontare per la prima volta un tale programma.

Il tempo necessario per lo sviluppo di un sistema di mezzi di lancio e di vettori dipende dallo sviluppo industria-

le e dalla relativa esperienza acquisita, e dovrebbe, nella maggior parte dei casi, avere una durata di 10 anni per nazioni ragionevolmente industrializzate. I costi possono essere ripartiti nel tempo, ma è inevitabile che si verifichino aumenti a certi stadi del programma. I costi per le sostituzioni di mezzi caduti in disuso, e le contromisure prese dall'avversario dipendono dal fattore tempo.

I costi in se stessi non riescono a dare un quadro realistico degli sforzi necessari in termini di risorse globali. E' indispensabile una base tecnologica adeguata per creare e mantenere una forza di veicoli di lancio e di vettori; cioè bisogna disporre di un personale qualificato, di ingegneri, di scienziati ed amministratori, di impianti di fabbricazione, di attrezzature sperimentali, di poligoni di lancio, ecc. Anche se i componenti più importanti possono essere acquistati all'estero, il sistema deve essere inserito in un complesso pratico; per questo si richiedono le capacità di un gran numero di persone qualificate.

I brevetti esteri tendono ad accrescere i costi a causa della lingua, dei sistemi di misura, dei lavori di traduzioni, dei viaggi necessari, della poca dimestichezza della mano d'opera con processi tecnici stranieri dei dazi doganali, della bassa produzione e della mancanza di un'industria consolidata con la sua esperienza ed i suoi strumenti di lavoro.

Bisogna anche considerare che i programmi della Francia e Gran Bretagna sono diretti a creare una forza moderna di garantita credibilità; se questi sono modesti, relativamente allo sforzo intrapreso dagli Stati Uniti, sono stati tuttavia giudicati da autorità responsabili come corrispondenti al limite minimo per una adeguata forza nucleare strategica. Le spese degli USA in questo campo rappresentano uno sforzo in ordine di grandezza più costoso dei programmi della Francia e Gran Bretagna messe insieme. Ciò è dovuto sia alle forze di gran lunga più ingenti impegnate dagli Stati Uniti, che dal più lungo periodo di esistenza di queste forze. Le spese totali per i vettori di questi tre paesi sono: per la Francia (1960-70) 2.780 milioni di dollari; per la Gran Bretagna (1956-67) 4.107

milioni, e per gli Stati Uniti (1948-70) 110.500 milioni di dollari. Indubbiamente potrebbero essere approntati da altri paesi programmi meno costosi in diverse circostanze. Tuttavia in generale anche un modesto programma nazionale di vettori, comprese le testate nucleari, dovrebbe costare al minimo 1.500 milioni di dollari.

Molte nazioni già hanno, o sono oggi in grado di mettere a punto facilmente, un sistema di mezzi di lancio e di vettori di specie diverse, come bombardieri di vecchio tipo, caccia bombardieri a piccolo raggio d'azione, o missili a lunga gittata. Tuttavia nel caso in cui questi paesi cercassero di mettere a punto una forza avente una credibilità assicurata e rispondente alle loro esigenze strategiche, solo pochi di essi disporrebbero realmente di vettori adeguati.

2. Costo di sistemi di lancio semplici

a) Aerei militari. Il minimo di spesa per un sistema di questo tipo si può raggiungere procurandosi una forza di 30-50 Canberra B-57, o bombardieri simili. Questo tipo di aereo può trasportare armi nucleari, sebbene la sua autonomia sia limitata.

L'acquisto e le spese di esercizio di un simile sistema sono stati valutati come segue :

	Costi di acquisto (mil. doll.)	Costi d'esercizio annuali (mil. doll.)
- Aerei, ricambi, aerei cisterna e relativo equipaggiamento	120	15
- Protezione; basi sparse, mezzi ausiliari semplici di penetrazione, caccia e difesa antiaerea	60	10
Totale	180	25

Come esempio di costi di produzione, si può portare il B-29, un bombardiere ad elica fabbricato negli USA, il cui costo è di 1,2 milioni di dollari, in più una spesa simile per gli impianti forniti dallo Stato.

b) Missili. Una forza semplice di missili terra-terra può consistere in circa 50 missili a breve o a media gittata installati in basi non protette. Un sistema del genere non dà molta fiducia e probabilmente riuscirebbe a lanciare solo una piccola parte dei missili, qualora dovesse subire un attacco coordinato. Dato che oggi è molto difficile poter acquistare un sistema di missili è necessario realizzarlo autonomamente, anche se possono essere acquistati componenti importanti come i boosters (parte del vettore che imprime una forte accelerazione iniziale al missile intero). La guida e il controllo dei boosters sono elementi necessari a dare credibilità ai missili così come alla minaccia strategica. Lo sviluppo di questo sistema è considerato il più difficile e costoso, ed una nazione tipicamente industrializzata può impiegare per il suo sviluppo dagli otto ai dieci anni.

I costi di acquisto e di esercizio per tali sistemi di missili da 1.000 e 3.000 km di gittata rispettivamente, sono stati calcolati come segue :

	Costi di acquisto (mil. doll.)		Costi annui d'esercizio (mil. doll.)	
	1.000 gittata	3.000 km gittata	1.000 km gittata	3.000 km gittata
- Missili, incluso lo sviluppo, acquisizione e costruzione di basi non protette	400-500	745-860	5	10
- Protezione	40	40	-	-
Totale	440-540	785-900	5	10

Negli Stati Uniti il missile Thor è un esempio di primo programma di missili strategici. Questo missile da 3.000 km di gittata è stato impiegato per alcuni anni in basi non protette della Gran Bretagna. Il costo per la messa a punto è stato più basso del normale, poichè molti degli elementi del Thor erano gli stessi usati nell'Atlas infatti i sistemi di propulsione erano molto simili e i veicoli di rientro identici. Il costo totale del programma è stato calcolato in 600 milioni di dollari.

Il programma britannico "Blue Streak" era comparabile a quello del Thor in quanto si trattava di un missile a propellente liquido installato in basi non protette (il Blue Streak era stato progettato per una gittata di 5.000 km). A causa dei ritardi sui tempi calcolati, dell'aumento dei costi, dell'invecchiamento, della vulnerabilità delle basi scoperte, e dell'eccesivo tempo di preparazione per una eventuale risposta, il Blue Streak fu eliminato durante il suo sviluppo, dopo che si erano spesi approssimativamente 300 milioni di dollari. Si è calcolato che ci sarebbero voluti altri 1.700 milioni e 11 anni per completare il suo sviluppo e per disporre di una forza in basi non protette. I costi del missile britannico hanno richiesto tante volte aumenti imprevisti, da cancellare l'intero programma.

Il costo totale per l'acquisizione di una forza di 13 squadriglie di Atlas, di circa 140 missili, con impianti di lancio ed attrezzature varie, è stato calcolato in 4.900 milioni di dollari, ciò significa circa 35 milioni per ogni missile. Le risorse richieste, in termini di investimenti di capitale, per la sola produzione e costruzione sono state di circa 153 milioni di dollari per squadriglia, a sviluppo completato. Il costo di un missile Atlas senza testata nucleare è di 1,9 milioni di dollari. Una base di lancio scoperta per un missile Atlas costa più di 27 milioni di dollari e la sua costruzione richieste un massiccio e pesante sforzo industriale per circa due anni. Infine c'è da aggiungere che ogni Atlas costa un milione di dollari all'anno per la manutenzione, e sono richiesti ottanta uomini altamente specializzati per ogni missile.

3. Costo di sistemi lancio medi

a) Aerei. Un sistema medio di mezzi di lancio può essere costituito da una forza di aerei molto veloci, con relativi aerei - cisterna, basi, impianti per la manutenzione, sistema di comando e di controllo ecc. Il sistema francese di bombardieri del tipo Mirage IV-A ne è un esempio; questo aereo, derivato dal caccia Mirage costruito nella metà degli anni 50, ha richiesto più di 6 anni per la messa a punto e sarà rimpiazzato con missili balistici a partire dal 1970. Si ritiene che il costo globale di acquisto si aggiri intorno ai 940 milioni di dollari e il costo di esercizio sia di circa 100 milioni di dollari allo anno. Di conseguenza il costo totale della forza dei Mirages , compresi i costi di esercizio per 10 anni, dovrebbe aggirarsi intorno ai 2.000 milioni di dollari.

I bombardieri britannici di tipo "V" (tre tipi di aerei subsonici medi) costituiscono un altro esempio di sistema medio di lancio con aerei. Approssimativamente sono stati costruiti 300 bombardieri, dei quali probabilmente meno di 200 sono stati resi operativi per ogni tempo. Una parte di queste forze è dotata del missile aria-terra Blue-Steel. Il costo totale di tale sistema, incluso il Blue-Steel, è stato calcolato in 1.800 milioni di dollari e il costo annuo di esercizio in 120 milioni. In generale gli inglesi hanno incontrato sempre gravi difficoltà nello sviluppare e mantenere la loro capacità di produrre forze aeree avanzate.

Una stima del costo di produzione dei primi B-47 era di 3400 milioni di dollari, ai quali bisogna aggiungere una eguale spesa per le attrezzature fornite dal governo. Il costo di un'ora di volo è di 500 dollari. Un esame del programma di produzione statunitense dei B-47 può dare un'idea delle risorse necessarie per mettere a punto una simile forza. Il personale impiegato nello stabilimtno Boeing, di Wichita nel Kansas , era di circa 22.000 persone, cioè molte migliaia in più del personale impiegato nella realizzazione del numero considerato un record, di B-29 nella fase finale della seconda guerra mondiale (un centinaio al mese). Quando fu dato il via alla co-

struzione dei B-47 il personale era di soli 1.500 persone. Lo impianto di 270.000 mq, chiuso alla fine della guerra, fu riaperto e dotato di macchinari per un valore di 29 milioni di dollari. Inoltre vasti impianti, costruiti durante la guerra, furono riaperti dalla Douglas e dalla Lockheed per la produzione di B-47, con materiale tecnico e installazioni fornite dalla Boeing. Da solo, l'impianto iniziale installato a Seattle per la produzione dei B-47 ha richiesto una spesa di 52,5 milioni di dollari (una spesa simile si ebbe anche a Wichita).

b) Missili. Il Minuteman I, lanciato da protettissimi silos sotterranei, avente una gittata di circa 10.000 km può essere considerato un buon esempio di sistema missilistico medio. Attualmente sono stati ordinati oltre 800 Minuteman I, e il costo del primo contingente di 50 missili può essere valutato in circa 100 milioni di dollari, cioè 2 milioni per missile. C'è anche da dire che le spese di installazione di un missile Minuteman è di circa 3 milioni di dollari escluso il costo del missile propriamente detto.

Per una forza di 50 Minuteman I, il costo, compreso lo sviluppo, si aggirerebbe sui 1.100 milioni di dollari ed i costi per l'installazione nei silos sui 150 milioni circa. Se si aggiungono poi le spese annuali di esercizio, valutate in 5 milioni di dollari, le spese totali per un periodo di 10 anni ammonterebbero a 1.300 milioni di dollari, ovvero 130 milioni di dollari all'anno.

Il programma francese di missili SSBS è sotto molti aspetti simile a quello del Minuteman I, consistendo la differenza principale nel fatto che il SSBS ha una gittata massima di circa 4.000 km. Si crede che approssimativamente 25 di questi missili saranno piazzati in bunker sotterranei fortificati. Poichè il programma SSBS è lungi dall'essere completato, è molto probabile che le spese previste saranno superate, senza poi tener conto dei costi di esercizio. Le spese di acquisizione sono stimate in 700 milioni di dollari. Occorreranno almeno 10 anni affinchè le basi di missili SSBS divengano operative, anche se il programma ha potuto utilizzare una capacità preesistente di ricerche di base in materia di razzi. La sua esecu-

zione esige delle risorse importanti ed un grande sforzo industriale, specialmente per gli impianti di sperimentazione.

Il costo totale di acquisizone di 14 squadriglie di missili Titan, comprendenti 140 fra Titan I e Titan II si valuta in 4.900 milioni di dollari. Le risorse richieste per la costruzione delle basi. Lo sforzo industriale e le risorse richieste per costruire un complesso di lancio protetto per nove missili installati in silos sotterranei, implica l'uso di vaste installazioni per lo sterramento, attrezzature specializzate per il trattamento del combustibile ecc., ed è senz'altro paragonabile alla costruzione di un edificio di 10 piani nel sottosuolo. L'impianto per la produzione del missile Titan, a Denver è costato circa 52 milioni di dollari.

4. Costo di un sistema di lancio avanzato

a) Aerei. Il solo sistema avanzato di lancio, per mezzo di bombardieri, è l'FB-111 ed è in via di impiego negli Stati Uniti. Da valutazioni fatte risulta che il costo di una forza di 210 aerei equipaggianti con missili aria-terra SRAM è di 2.173 milioni di dollari. C'è però da sottolineare che questi calcoli non tengono conto di ulteriori spese possibili e che il caccia bombardiere FB-111 è derivato dal caccia F-111, per cui la maggior parte dei costi di sviluppo sono stati messi sulle spese di sviluppo di questi ultimi. I costi di esercizio fino al 1971 si aggireranno sui 342 milioni di dollari.

La Gran Bretagna ha annullato un programma di costruzione di bombardieri supersonici ultra-moderni (TSR) a causa dell'intollerabile aumento dei costi. Si calcolò infatti che una forza di 150 aerei sarebbe venuta a costare 2.000 milioni di dollari e ogni aereo 14 milioni.

Si è stabilito in certi studi un modello che permette di calcolare le risorse finanziarie, la mano d'opera ed i

servizi che esige la costruzione di aerei supersonici militari aventi un peso lordo massimo di 45.500 kg. I dati riguardanti i costi di un ipotetico aereo del peso massimo di 29.500 kg, al decollo, derivati dal modello suddetto, dovrebbero essere i seguenti :

- Progetto e sviluppo	520 milioni dollari
- Ore di lavoro tecnico sul prototipo	12 milioni ore lavorative
- Personale effettivo di una fabbrica con capacità produttiva di 12 unità al mese	13.200 unità
- Superficie delle officine richiesta per la produzione di 12 unità al mese	290.000 mq

b) Missili. Un esempio di piccola forza dotata di mezzi di lancio avanzati è il sistema francese MSBS, che consiste in tre sommergibili a propulsione nucleare lancia-missili, ognuno armato con 16 missili dalla gittata di 3.000 km. L'esistenza di tre sommergibili assicura la possibilità che due di essi sono operativi in ogni tempo. La spesa per questa forza nucleare strategica è stata calcolata in 1.000 milioni di dollari, e il costo annuo di esercizio dell'ordine di 20 milioni.

Il costo globale previsto dalla Francia per i sottomarini nucleari equipaggiati con missili e per i sistemi MSBS e SSBS, sarà fino al 1970 di 1.840 milioni di dollari, cioè poco più della somma dei costi del sistema SSBS indicati in precedenza (700 milioni), e dei costi di acquisizione (1.000 milioni). Occorre sottolineare che i costi sopra indicati possono essere soggetti a possibili aumenti; oltre a ciò, i sistemi MSBS e SSBS hanno molti elementi in comune, per cui non è sempre facile stabilire una distinzione fra i costi di sviluppo dello uno e dell'altro.

Un altro esempio di una importante forza equipaggia-

ta con mezzi di lancio avanzati è il programma Polaris della Marina degli Stati Uniti. Una volta completato il programma, questa forza comprenderà 41 sommergibili nucleari dotati ognuno di 16 missili. Tre versioni di questi missili sono già stati sviluppati e prodotti: l'A-1, l'A-2 e l'A-3. Il primo tipo di missile è già caduto in disuso ed è stato rimpiazzato. Il Polaris A-2 sarà sostituito in futuro dal nuovo Poseidon e si renderanno necessarie delle modifiche ai sommergibili, come pure allo sviluppo e all'acquisizione dei missili. Le stime dei programmi Polaris, compreso quello dei missili, dei sommergibili e delle basi d'appoggio si preannunciano nel 1970 superiori ai 13.000 milioni di dollari.

5. Ricapitolazione dei dati relativi ai costi di acquisto e di esercizio dei veicoli di lancio e dei vettori

Una ricapitolazione dei costi di acquisizione e di esercizio per le varie categorie di sistemi di veicoli di lancio e di vettori è riportato nella Tavola 15.

Tavola 15

Ricapitolazione dei dati relativi ai costi di acquisto e di esercizio dei veicoli di lancio e dei vettori.

Categoria	Descrizione	Costi di acquisto	Costi di esercizio
		milioni di dollari	
Sistema semplice di aerei	30-50 bombardieri Canberra B-57 (USA)	180	25
Sistema semplice di missili	50 missili da 1.000 km di gittata in basi non protette	440-540	5
	50 missili da 3.000 km di gittata in basi non protette	800-900	10
	Missile Thor (USA)	600	non disp.
	13 squadriglie di Atlas (USA), circa 140 unità	4.900	2 (per miss)
Sistema medio di aerei	50-60 caccia-bombardieri Mirage-IV (Francia)	940	100
	300 bombardieri "V" (G.B.) nei tre tipi, equipaggiati con missili aria-terra	1.800	120
Sistema medio di missili	50 missili Minuteman-I da 10.000 km di gittata, in basi protette (USA)	1.250	5
	25 missili SSBS (Francia) da 4.00 km di gittata in basi protette	700	non disp.
	14 squadriglie di Titan (USA), circa 140 unità	4.900	non disp.
Sistema avanzato di aerei	210 caccia-bombardieri FB-111 (USA), equipaggiati con missili aria- terra SRAM	2.200	340 (totale fino al 1971)
Sistema avanzato di missili	3 sommergibili nucleari lancia-missili, ciascuno con 16 missili da 3.000 km di gittata (Francia)	1.000	20
	41 sommergibili nucleari lancia-missili, ciascuno con 16 missili Polaris	13.000	non disp.

IV. UN ESEMPIO DI "ESCALATION" DEI COSTI E DELLE CONTROMISURE

1. Costi dei sistemi di lancio USA

La lista degli aerei impiegati, o di cui è previsto l'impiego, comprende: B-36, B-47, B-50, B-52, B-58, FB-111, KC-97 e KC-135. Il numero di questi aerei supera i 4.500.A questi si devono aggiungere i missili SRAM, Rascal, Hound Dog, Quail costruiti a centinaia. Inoltre, molti aerei sono stati sviluppati sia sotto forma di prototipi, come l'XB-60 e l'EB-70, che prodotti in quantità limitata come il B-45. Alcuni missili aria-terra (Skybolt e Goose) vennero eliminati prima ancora di essere portati a termine. Le spese per un simile arsenale, secondo una stima comprensiva delle attività di ricerca e di sviluppo nonchè di quelle per la costruzione delle basi necessarie, sono dell'ordine di 28.000 milioni di dollari.I costi di esercizio per l'impiego di sistemi di lancio con aerei raggiungono circa i 31.500 milioni di dollari. Queste spese non tengono conto dei costi d'esercizio dell'FB-111, nè dei costi degli apparati logistici e difensivi richiesti per appoggiare e proteggere le forze offensive.

Per quanto riguarda i missili strategici le spese sottoindicate comprendono la ricerca e lo sviluppo, l'acquisto dei missili e la costruzione delle relative basi (protette e non), nonchè quelle per i sommergibili lancia-missili e le loro navi di appoggio. Fra i missili balistici impiegati sono anche da includere i seguenti: Thor, Jupiter, Atlas, Titan, Minuteman, Polaris e Poseidon. Inoltre sono stati messi a punti alcuni missili con motore ram-jet o turboreattore (alcuni per periodi di diversa durata) come il Mace, il Regulus, lo Snark, e il Navaho. I costi di capitale richiesti per i suddetti sistemi sono stati stimati in 37.000 milioni di dollari, i relativi costi di esercizio ad attività sperimentali, secondo alcune stime dovrebbero aggirarsi intorno ai 14.000 milioni di dollari.

I costi d'acquisto e d'esercizio dei mezzi di lancio e dei vettori impiegati dagli Stati Uniti possono essere riassunti come segue :

	(milioni di doll.)
- Aerei strategici :	
Costi di acquisto	28.000
Costi di esercizio (1950/70)	31.500
Tot. parziale :	59.500
- Missili strategici :	
Costi di acquisto	37.000
Costi di esercizio (1960/70)	14.000
Tot. parziale :	51.000

Durante l'anno fiscale 1965 gli Stati Uniti hanno investito circa 45.000 milioni di dollari (comprendenti ricerca, sviluppo, produzione e relative costruzioni militari) per armi che fanno annualmente parte delle forze di rappresaglia strategica; questi sono stati così ripartiti :

(milioni di doll.)	
10.100	14 squadriglie (630 aerei) di bombardieri pesanti B-52
3.100	2 squadriglie (80 aerei) di bombardieri medi B-58
1.500	2 aerei sperimentali XB-70
2.800	Flotta di 43 squadriglie di aerei-cisterna KX-135 per il rifornimento in volo dei B-52 e B-58
1.100	Missili-civetta Quail e missili aria-terra Hound Dog impiegati per aiutare i B-52 a raggiungere gli obbiettivi
5.400	13 squadriglie di missili Atlas a propellente liquido

5.700	12 squadriglie di missili Titan a propellente liquido
7.100	16 squadriglie di missili Minuteman I, e 4 di Minuteman II, comprendenti 1.000 missili (programma finanziato fino all'anno fiscale 1965). La messa in opera della forza dei Minuteman deve essere completa nel 1969 e l'inclusione nei missili vecchi dei perfezionamenti apportati ai modelli più recenti richiederà spese supplementari dell'ordine di 11.100 milioni di dollari.
10.300	Flotta di 41 sommergibili Polaris e navi d'appoggio.

2. Contromisure

Per i costi delle contromisure sono considerati quelli relativi allo spiegamento di un sistema ABM (Anti-Balistic Missile) ed alle reazioni che questo provocherà. Negli Stati Uniti il sistema di missili Nike-X è in corso di sviluppo da vari anni; esso comprende nello stesso tempo sistemi di difesa che coprono sia una regione intera, sia obiettivi precisi. I costi di acquisizione di questo sistema dipenderanno dalla estensione dello spiegamento. Le stime sono approssimativamente di 4.000 milioni di dollari per uno spiegamento disperso contro una minaccia limitata, e più di 40.000 milioni di dollari per un dispiegamento completo contro la minaccia di missili ultra-perfezionati che impiegano tutta una serie di mezzi ausiliari di penetrazione. Per essere pienamente efficiente, un sistema ABM deve essere integrato con un programma di difesa civile che preveda la costruzione di rifugi atomici. Non si è tenuto conto del costo di un programma di tale portata nelle cifre sopra indicate. I mezzi ausiliari di penetrazione dei vettori hanno lo scopo di aumentare l'efficacia delle forze attaccanti nei confronti degli obbiettivi difesi dagli ABM. Gli Stati Uniti hanno speso più di 1.200 milioni di dollari per il lavoro di ricerca in questo campo, e l'attuazione dei relativi progetti richiederà spese supplementari.

V. RICAPITOLAZIONE DEI COSTI DI ACQUISTO

1. Capacità nucleare limitata

Come punto di riferimento si è supposto che una capacità nucleare modesta, ma credibile, potrebbe comprendere una testata trasportabile ed un sistema elementare di lancio comprendente missili a media gittata ed alcuni aerei. Si è supposta questa forza composta dalle seguenti unità :

- 30-50 bombardieri Camberra B-57 acquistati all'estero;
- 50 missili a media gittata (3.000 km) in basi non protette , progettati e prodotti autonomamente;
- 100 testate nucleari, progettate e prodotte autonomamente.

Secondo le tavole 13 e 15, il costo minimo totale di una simile forza, messa a punto in dieci anni, sarebbe di 1.700 milioni di dollari così suddivisi :

		Costi di acquisto (mil. doll.)	Costi d'esercizio (mil. doll.)
Testate	(100)	200	-
Aerei	(30-50)	180	250
Missili	(50)	900	150
	Totale :	1.280	400

Queste valutazioni relative ad una forza nucleare di dimensioni modeste sono basate sulle capacità tecniche, scientifiche e industriali di una nazione industrializzata moderna che abbia già una buona esperienza nella tecnologia della energia nucleare, dell'aereonautica e della ricerca spaziale. Il costo di questa forza tenderà ovviamente a salire di molto se sarà necessario creare un'industria nazionale di base per lo svi-

luppo e la produzione di mezzi di lancio e di vettori.

Le stime riportate sopra, concernenti le testate nucleari, sono basate inoltre sullo studio svedese, già citato , che probabilmente prevede sperimentazioni relativamente elementari di un solo tipo di testata. Un'estensione del programma di produzione di testate nucleari con relativa sperimentazione comprendente sia quelle strategiche che tattiche, potrebbe, in base al programma francese del 1960, aumentare il costo totale di circa 50-60 milioni di dollari (si veda anche la parte dedicata alla progettazione, sperimentazione e fabbricazione).

2. Forza nucleare avanzata di piccole dimensioni

Uno studio polacco appositamente condotto per questo rapporto, contiene una stima dei costi di una forza nucleare avanzata di piccole dimensioni. E' stato preso come base un programma suddiviso in due stadi della durata di 5 anni ciascuno, alla fine del primo stadio (1968-72) verrebbe messa a punto una forza nucleare comprendente 15 bombardieri e 15-20 testate nucleari, mentre durante il secondo stadio (1973-1977) la forza verrebbe sviluppata fino a comprendere da 20-30 testate termonucleari, 100 missili a media gittata e due sommergibili nucleari lancia-missili. Il costo totale di questo programma, eseguito dalla industria nazionale a partire da risorse interne, dovrebbe aggirarsi sui 5.600 milioni di dollari, cioè con un costo medio annuo di 560 milioni di dollari.

Il programma ipotizzato dai polacchi è una versione ridotta del programma francese. Il costo stimato è sensibilmente più basso delle spese apparenti impegnate dalla Francia e dalla Gran Bretagna, che stanno tentando attualmente di creare forze avanzate di medie dimensioni.

Il costo francese per il programma nucleare militare fino al 1969 è stato valutato in 8.400 milioni di dollari, e quello della Gran Bretagna fino al 1969 raggiunge una cifra simile.

All'inizio dell'esecuzione del programma francese, si prevedevano spese annuali di 50 milioni di dollari, ma tali spese hanno ormai raggiunto i 1.000 milioni di dollari in un solo anno.

Il costo annuale effettivo delle forze nucleari di alcuni paesi è riportato nella Tavola 16, dove è anche indicato il rapporto fra questo costo, il bilancio della difesa, e il prodotto nazionale lordo.

I confronti tra i diversi dati riportati nella Tavola 16 devono essere fatti con molta cautela, sia perchè si riferiscono a paesi a differenti stadi nello sviluppo di armi nucleari, e sia perchè l'entità delle rispettive forze nucleari non è del tutto conosciuta.

Tavola 16

Costo effettivo delle forze nucleari

Paesi	Periodi di tempo	Costi Totali	Costo annuale in % in rapporto al:	
		mil. doll.	Bilancio Militare	Prodotto nazionale lordo
FRANCIA	1960-1964	2.400	13%	0,7%
	1965-1970	5.200	18%	0,9%
GRAN BRETAGNA	1962-1963	480	10%	0,7%
	1965-1966	350	6%	0,4%
	1966-1967	300	5%	0,3%
STATI UNITI D'AMERICA	1962	13.200	26,4%	2,4%
	1963	12.100	23,3%	2,1%
	1964	11.200	21,1%	1,8%
	1965	8.200	16,8%	1,3%
	1966	8.200	14,6%	1,2%
	1967	8.400	12,1%	1,2%

VI. APPRONTAMENTO DELLE RISORSE

1. Considerazioni generali

Se un paese vuole produrre una forza nucleare con i propri mezzi (ed è questo l'obiettivo supposto), i materiali e la mano d'opera necessari richiedono non solo un considerevole impegno finanziario, ma anche - ciò che è più importante - lo impegno di risorse altamente specializzate. Anche per una nazione industrializzata le difficoltà economiche che si presenteranno rischiano di essere più gravi in questo campo che in quello più propriamente finanziario.

Le pubblicazioni che trattano lo sviluppo delle armi nucleari non indicano in modo dettagliato le risorse necessarie per l'acquisizione e l'utilizzazione di una capacità significativa da un punto di vista militare. Ci sono però numerosi dati che indicano la varietà, il tipo e la qualità delle risorse richieste.

Per un programma di fabbricazione di armi nucleari gli elementi di base sono: materie prime, un corpo di ingegneri qualificati e di fisici esperti, nonchè una base industriale moderna. Egualmente, un sistema di mezzi di lancio perfezionati esigono materiali di alta qualità ed una grande quantità di esperienza in questo campo.

In uno studio sul numero del personale tecnico e scientifico, necessario ad una nazione per costruire installazioni in cui sia possibile produrre testate nucleari a ritmo continuo, è stato calcolato che occorrerebbero 1.300 ingegneri e 500 scienziati.

Secondo certe valutazioni sembra che la produzione di missili balistici a media gittata, esiga personale tecnico altamente qualificato superiore a quello necessario per le armi nucleari. E' stato calcolato che per produrre e mettere in opera

50 missili di media gittata dovrebbe esser necessaria una forza di lavoro di 19.000 unità di cui oltre 5.000 tra scienziati ed ingegneri. Le categorie più qualificate dovrebbero comprendere ingegneri, fisici, specialisti in aereodinamica, ingegneri meccanici e di altre specialità, nonchè un grosso numero di maestranze qualificate, come operatori di macchina e saldatori.

La costruzione della flotta di bombardieri supposta in precedenza potrebbe richiedere al minimo, per il solo lavoro di assemblaggio, 1 o 2 milioni di ore lavorative fra mano d'opera specializzata e non specializzata. Il progetto e lo sviluppo potranno assorbire ciascuno almeno 2 milioni di ore lavorative di ingegneri e di personale altamente specializzato in aereodinamica, in ricerche sulla resistenza dei materiali, in costruzioni di modelli, e in voli sperimentali.

Per il caccia svedese AJ-47 Viggen lo sviluppo richiese nel 1966 una forza di lavoro per un totale di 2.500 unità tra cui 200 scienziati. Per una produzione, ad esempio, di 33 aerei all'anno occorrerebbero 4.000 uomini, di cui 400 tra scienziati ed ingegneri.

Per la maggior parte dei paesi, il costo delle risorse per l'acquisizione di una potenza nucleare rappresenterebbe un sacrificio molto maggiore del costo finanziario, ed assai più difficile da valutare e definire. Non esiste infatti né un "bill of goods" per la capacità nucleare voluta, nè dati validi per mostrare le capacità nazionali nel campo delle risorse specializzate e di qualità elevata, richieste dai programmi nucleari.

La quantità di mano d'opera richiesta per la progettazione e fabbricazione di 50 bombardieri e per la messa a punto, costruzione e impiego di 50 missili è complessivamente di 7.000 fra scienziati, ingegneri e tecnici. Questo numero di specialisti rappresenta una notevole percentuale degli scienziati ed ingegneri di cui dispongono molti paesi. La creazione di una forza nucleare, secondo le valutazioni dello studio polacco, dovrebbe impegnare la maggior parte dell'intero corpo di scienziati, ingegneri e tecnici ora assegnato agli usi pacifici dell'energia nucleare, ovvero tutto il complesso industria-

le polacco per la produzione nucleare sarebbe assorbito da un programma per la produzione militare.

Inoltre la parte più qualificata degli scienziati, degli ingegneri, dei tecnici disponibili e una parte notevole delle industrie (chimiche, metallurgiche ed elettroniche) dovrebbero dedicare tutti i loro sforzi esclusivamente all'esecuzione del programma di produzione militare.

VII. IMPLICAZIONI ECONOMICHE

1. Dati statistici

I dati presentati nel diagramma della Figura 14 co - stituiscono la rappresentazione grafica dei valori reali ripor tati nella Tavola 17.

La tabella 192 dello Statiscal Yearbook del 1965, e- dito dalle Nazioni Unite, riporta le spese fatte in alcuni cam pi dai governi centrali e regionali di un gran numero di paesi. Per la maggior parte dei paesi le spese per la difesa, l'educa- zione e la sanità sono riportate in voci separate, ed espresse in moneta nazionale. La conversione in dollari statunitensi è stata fatta sulla base dei tassi di scambio della tabella 185 dell'annuario suddetto (nei casi in cui i tassi di cambio sono mutati è stato preso un valore medio). E' stato scelto l'anno 1964 poichè è l'ultimo per il quale la maggior parte dei dati sono stati resi noti, se i dati disponibili più recenti riguar dano un altro anno, ciò è in ogni caso indicato nella Tavola 16. I paesi per i quali non è stato comunicato alcun dato sono stati omessi dalla lista. Dalle liste si può osservare che le voci sono incomplete per due dei maggiori paesi, Francia ed I- talia; questo nel grafico della Figura 14, causa un certo sfa- samento verso sinistra delle curve relative alle spese per l'e ducazione e la sanità, mentre la mancanza di notizie su alcuni piccoli paesi non ha un effetto sensibile.

Nel grafico della Figura 14 le due linee orizzontali corrispondono rispettivamente alle spese di 170 milioni di dol lari USA previste per una piccola forza nucleare, ed a quelle di 560 milioni di dollari necessaria per una forza nucleare me dia ma avanzata. Il grafico mostra inoltre che queste somme rappresenterebbero una componente di primo piano nel totale delle spese dirette alla difesa per tutti i paesi, eccetto che per dieci più grandi; quindi sei paesi, oltre quelli già esi- stenti, potrebbero divenire potenze nucleari. Una ventina di

Tavola 17

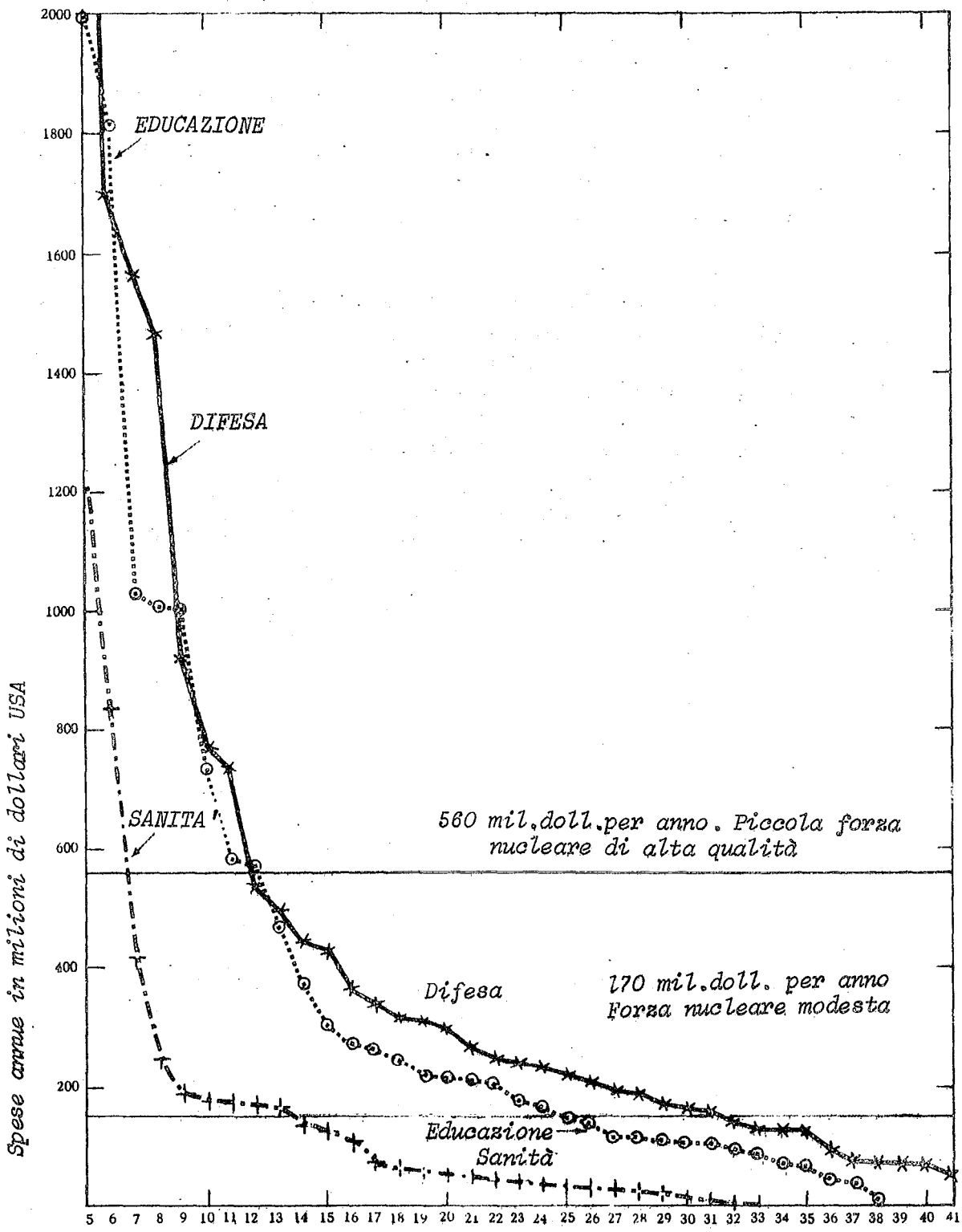
Spese nazionali in dollari USA
(Dallo Statistical Yearbook 1965; tavole 192 e 185)

Difesa				Educazione				Sanità			
N.	Nazione	mil.doll.	anno	N.	Nazione	mil.doll.	anno	N.	Nazione	mil.doll.	anno
1	USA	54.514	1964	1	USA	35.528	1964	1	USA	40.836	1964
2	URSS	14.765	"	2	URSS	16.106	"	2	URSS	20.339	"
3	GB	5.615	"	3	GB	4.346	"	3	RFT	3.231	"
4	RFT	4.016	"	4	RFT	2.250	"	4	GB	3.138	"
5	Francia	3,891	"	5	Italia	2.003	"	5	Australia	1.207	"
6	India	1.702	"	6	Canada	1.820	"	6	Polonia	838	"
7	Canada	1.568	"	7	Giappone	1.033	"	7	Canada	415	"
8	Italia	1.467	"	8	Olanda	1.008	"	8	India	245	"
9	Polonia	924	"	9	Polonia	1.002	"	9	Danimarca	183	"
10	Svezia	774	"	10	Belgio	736	"	10	Svezia	173	"
11	Olanda	734	"	11	India	582	"	11	Venezuela	172	"
12	Australia	539	"	12	Svezia	572	"	12	Brasile	165	1963
13	Belgio	496	"	13	Australia	468	"	13	N.Zelanda	163	1964
14	Jugoslavia	443	"	14	Brasile	373	1963	14	Argentina	136	"
15	Giappone	427	"	15	Messico	301.5	1964	15	Bulgaria	128	1963
16	Spagna	369	1963	16	Finlandia	273	"	16	Finlandia	107	1964
17	Svizzera	340	1964	17	Argentina	262	"	17	Jugoslavia	73	"
18	Turchia	320	"	18	Danimarca	243	"	18	Messico	64	"
19	Brasile	314	1963	19	Bulgaria	221	1963	19	Turchia	60,6	"
20	Argentina	302	1964	20	Turchia	219	1964	20	Perù	53.8	"
21	RAU	267	"	21	Austria	217	"	21	RAU	50,8	"
22	Israele	250,5	"	22	Spagna	203	1963	22	Sud Africa	47,5	"
23	Pakistan	241	"	23	Venezuela	174	1964	23	Belgio	42	"
24	Danimarca	235	"	24	Norvegia	164	"	24	Israele	38,6	"
25	Bulgaria	220	1962	25	Filippine	149	"	25	Norvegia	37,9	"
26	Norvegia	208	1964	26	RAU	140	"	26	Olanda	36	"
27	Iran	193	"	27	N.Zelanda	115	"	27	Nigeria	35.7	1963
28	Grecia	188	"	28	Perù	115	"	28	Pakistan	26	1964
29	Portogallo	176,3	"	29	Cile	110	"	29	Taillandia	21,2	"
30	Indonesia	165	"	30	Jugoslavia	107	"	30	Portogallo	14,1	"
31	Sud Africa	160	"	31	Taillandia	105	"	31	Austria	11,1	"
32	Venezuela	144	"	32	Israele	94,6	"	32	Indonesia	6,0	"
33	Austria	132	"	33	Nigeria	89	1963	33	Svizzera	3,7	"
34	Messico	130	"	34	Sud Africa	75,1	1964				
35	Finlandia	130	"	35	Pakistan	70	"				
36	Taillandia	94,1	"	36	Portogallo	42,3	"				
37	Cile	78,5	"	37	Svizzera	41,1	"				
38	Perù	78,2	"	38	Indonesia	14	"				
39	N.Zelanda	77	"								
40	Filippine	76	"								
41	Nigeria	53.3	1963								

FIGURA 14

(Grafico ricavato dai dati della Tavola 17)

COSTO DI UN ARMAMENTO NUCLEARE IPOTIZZATO IN RELAZIONE ALLE SPESE NAZIONALI SULLA DIFESA? EDUCAZIONE E SANITA'



Numeri riferentesi ai paesi considerati nella Tavola 17

paesi hanno inoltre un bilancio militare totale superiore al costo di un piccolo armamento nucleare (170 milioni di dollari).

Sembra dunque che ci sono circa sei paesi nel mondo, oltre le cinque potenze dotate di armi nucleari, che potrebbero permettersi una spesa supplementare di 170 milioni di dollari all'anno per creare un piccolo armamento nucleare senza dover distolgiere la maggior parte delle loro risorse tecniche da attività costruttive. Per quanto riguarda la forza nucleare media suggerita, del costo di 560 milioni di dollari all'anno, solo questi sei paesi sembrano in grado di far fronte alle risorse necessarie.

Ciò che si può dedurre esattamente dal grafico è una valutazione dell'entità delle spese per una forza nucleare in relazione ad altre spese come la difesa, l'educazione e la sanità. Ogni altra deduzione è da farsi con molta cautela, perchè non bisogna dimenticare che i sistemi di compatibilità nazionale sono differenti e i tassi di cambio variano. Inoltre le spese segnalate nello Statistical Yerbook sono quelle dei poteri centrali o regionali, e bisogna tener conto che in molti paesi l'educazione e la sanità sono assai spesso finanziati da altre fonti.

CAPITOLO IV

CONSEGUENZE SULLA SICUREZZA DELL'ACQUISIZIONE E DELLO SVILUPPO DI ARMI NUCLEARI

Introduzione

A conclusione di questo rapporto, si rende necessario esaminare i riflessi esercitati sulla sicurezza dall'acquisizione e sviluppo delle armi nucleari. Il compito non è facile e un tale problema, sia se considerato in un contesto nazionale che internazionale, costituisce attualmente uno dei principali argomenti di discussione politica e strategica, per questo è forse preferibile affrontarlo storicamente.

I. STORIA DELLE ARMI NUCLEARI

Come è stato ricordato nella prima parte, fu nel 1945al termine della seconda guerra mondiale, che il mondo apprese che un'arma nucleare di distruzione massiccia era stata costruita dagli Stati Uniti d'America.

Cosciente che questo evento poteva avere conseguenze spaventose per l'umanità, la prima decisione unanime dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite fu che l'energia atomica doveva essere posta sotto un controllo internazionale e che le armi atomiche dovevano essere eliminate dagli arsenali nazionali.

Il tentativo fallì.

Da allora cominciò la corsa agli armamenti nucleari. Nel 1949 l'U.R.S.S. rivelò che anch'essa possedeva armi nucleari. La corsa acquistò nuove dimensioni quando entrambe le Potenze fabbricarono la bomba-H, il cui potere esplosivo si calcola in megatoni, e quando si dimostrò poi che tali ordigni nucleari potevano esser lanciati con precisione non solo con aerei, ma, a distanze praticamente illimitate, per mezzo di razzi intercontinentali. Da ciò nacque la consapevolezza che se una parte avesse attaccato con armi nucleari, l'altra parte avrebbe dovuto immediatamente rispondere nello stesso modo, sia che vi fossero o meno differenze nel numero di bombe da esse possedute. Fu così che si sviluppò il concetto di "deterrenza" (o potere di dissuasione) strategica delle armi nucleari. La realtà di questa concezione è dimostrata dal fatto che, qualunque siano stati i dissidi politici fra le due super-potenze durante gli ultimi 15 anni, esse non si sono mai impegnate in un conflitto militare diretto. La paura delle disastrose conseguenze dell'esplosione anche di poche bombe nucleari ha fino ad ora contribuito a limitare notevolmente qualsiasi azione che potesse determinare il loro uso.

Gli sforzi per mantenere uno stato di "deterrenza" nucleare hanno richiesto il dispendio di ampie risorse e, fatto paradossale, lungi dall'accrescere la sicurezza, hanno a vol

te generato uno stato generale di insicurezza.

Ognuna delle due potenze ha fatto, e continua a fare, i maggiori sacrifici per assicurarsi che i propri ordigni nucleari ed i veicoli di lancio continuino a mantenere un'efficienza adeguata alle contromisure adottate d'altra parte. Queste contromisure sono progettate ed attuate in modo da rispondere il più efficacemente possibile al duplice scopo di accrescere le possibilità di sopravvivenza di un armamento nucleare ad un improvviso attacco atomico dell'altra parte e, viceversa, rendere i propri mezzi offensivi in grado di sgominare qualsiasi difesa messa in atto dall'avversario.

Il reciproco sviluppo tecnologico ed il perfeziona - mento degli ordigni nucleari e dei loro vettori costituiscono una corsa a spirale agli armamenti nucleari che si va sempre di più accelerando. Priva di un reciproco accordo, è una corsa senza fine che non conduce ad un'uniforme stato di sicurezza, ma come è stato affermato, a fasi di maggior insicurezza alternate a periodi nei quali sembra regnare una relativa tranquillità. Non ci si può attendere che l'andatura di questa corsa possa rallentare, fino a che non vengano compiuti progressi concreti sulla vita del disarmo, i quali portino al rafforzamento della sicurezza di tutte le nazioni.

La Gran Bretagna, alleata con gli Stati Uniti durante la seconda guerra mondiale nello sviluppo delle prime armi nucleari, successivamente sviluppò per proprio conto un piccolo armamento nucleare e, fin dall'inizio, anche un sistema di mezzi lancio e di vettori. Il Canada, il quale durante la guerra aveva cooperato con la Gran Bretagna allo sviluppo della tecnologia nucleare, decise di non impegnarsi nella fabbricazione di armi nucleari. La Francia O. K. invece, i cui scienziati avevano altresì partecipato insieme alla Gran Bretagna e al Canada agli sforzi di collaborazione durante la guerra per l'avanzamento della tecnologia nucleare, cominciò nel corso del decennio 1950-60 a fabbricare per proprio conto armi nucleari e veicoli di lancio. La Repubblica Popolare Cinese è divenuta recentemen

te la quinta nazione a seguire la stessa via. Il numero esatto delle armi nucleari oggi esistenti nel mondo non è noto, ma è senz'altro certo che soltanto la corsa agli armamenti fra USA e URSS ha determinato una tale produzione di armi che il potere distruttivo globale è senz'altro più che sufficiente ad eliminare tutto il genere umano.

II. PROSPETTIVE ATTUALI

Per quanto riguarda la sicurezza internazionale, è molto probabile che ogni ulteriore aumento del numero degli Stati dotati di armi nucleari o ogni ulteriore ampiamento degli arsenali nucleari esistenti, porterà ad una maggiore tensione e ad una maggiore instabilità nel mondo intero.

Entrambi questi aspetti della corsa agli armamenti nucleari sono importanti ai fini della pace mondiale. La preoccupazione crescente per la diffusione e il perfezionamento delle armi nucleari è una chiara manifestazione dello stato di paura in cui si trova attualmente il mondo, poichè l'aumento delle potenze nucleari, accentuando le tensioni regionali, potrebbe rendere solo più complesso e difficile il problema del mantenimento della pace.

Per di più, non si può negare l'affermazione secondo cui il pericolo di una guerra nucleare che scoppi per caso o per errore, divienga sempre maggiore quanto più aumenta il numero di stati dotati di tali armi e quanto più aumentano gli arsenali e si diversificano le armi.

Se dovesse scoppiare un conflitto nucleare, qualunque sia l'estensione iniziale, nessuno Stato potrebbe sentirsi al sicuro; anche se non fosse vittima di un attacco diretto, e anche se non dovesse subire le conseguenze immediate di tale attacco, ciò nonostante potrebbe soffrire per le conseguenze della successiva pioggia di detriti radioattivi.

Fu in gran parte perchè il mondo intero era preoccupato per il "fall-out" degli esperimenti nucleari degli anni 50 e degli inizi degli anni60 e che il più importante accordo internazionale fino ad oggi concluso per limitare la diffusione delle armi nucleari (il trattato sulla interdizione parziale degli esperimenti nucleari) fu firmato nel 1963.

Ognuno dei cinque paesi possessori di armi nucleari ha sempre giustificato i motivi per cui aveva apprestato un ar

senale nucleare con ragioni di carattere tattico, difensivo e /o di deterrenza. Nessuno ha mai affermato di aver fabbricato tali armi per le loro capacità offensive. Ma le trasformazioni verificatesi nel corso degli ultimi 20 anni nell'equilibrio delle forze strategiche mondiali, come pure il sostanziale mutamento delle probabili cause ed effetti di una guerra nucleare, hanno creato una concezione molto diversa da quella esistente alla fine della seconda guerra mondiale.

Appare d'altronde evidente, dalla storia degli ultimi 20 anni, che il possesso di un arsenale non significa, nè può significare, la stessa cosa per differenti paesi, sia in termini di potenza militare, che di sicurezza politica. Allo stesso modo, è logico pensare che gli Stati, che non si sono impegnati nello sviluppo di armi nucleari, si sono astenuti dal farlo a causa della diversità delle valutazioni sui vantaggi e sugli svantaggi di un tale passo.

La possibilità di un aumento nel numero di Paesi che potrebbero darsi un armamento nucleare è da attribuire a diversi motivi.

Da alcuni il fatto che le Potenze nucleari esistenti abbiano finora fallito nel raggiungimento di un accordo,sia per quanto concerne la cessazione dello sviluppo di armi nucleari, che per arrestare, se non ridurre, il proprio arsenale nucleare, viene considerato come un argomento a favore dell'acquisizione di armi nucleari da parte di altri Stati. Per raggiungere una maggiore sicurezza altri potrebbero anche pensare che, se una situazione di mutua deterrenza è stata creata tra le esistenti Potenze dotate di armi nucleari, una situazione analoga potrebbe essere creata tra altre Potenze che già posseggono la base tecnologica e industriale necessaria per costruire armi atomiche e, in futuro, tra paesi che ancora non la posseggono. Ma contro tali concezioni va sottolineato che per nessuna parte lo sviluppo delle armi nucleari ha reso possibile fare a meno di truppe terrestri o di armi convenzionali. Ogni nuovo paese che s'impegnasse nella produzione di armi nucleari si accorgerebbe presto di aver iniziato una corsa ad armi nuove senza essere in grado di fare a meno delle vecchie. Così all'aggra-

vio di una corsa agli armamenti si aggiunge quello preesistente delle armi convenzionali non appena una nazione tenti di dotarsi di armi nucleari; per di più l'insicurezza che ingenera la corsa stessa agli armamenti nucleari renderebbe necessario perfezionare continuamente le armi nucleari ed i loro vettori di lancio, come pure le misure per la creazione di un efficace sistema di allarme al fine di impedire attacchi di sorpresa. Inoltre poichè la corsa alle armi nucleari richiede, tra l'altro, immense risorse tecnologiche, si potrebbero creare le condizioni per cui lo sviluppo economico di una nazione verrebbe ad essere congelato. La sicurezza interna, turbata dalla conversione delle risorse per una nazione può divenire un problema altrettanto importante, quanto può esserlo una minaccia esterna; inoltre l'acquisizione da parte di ogni nazione di armi nucleari cambierebbe radicalmente le sue relazioni internazionali. Infatti i paesi confinanti non nuclearizzati potrebbero essere tentati di acquistare armi nucleari, oppure iniziare una immediata azione militare preventiva; e, d'altra parte il fatto di avere armi nucleari sul proprio territorio porta con sè la conseguenza di diventare un bersaglio diretto per un attacco nucleare.

Una capacità nucleare intesa a dissuadere o controbilanciarne un'altra su base bilaterale determinerebbe un cambiamento di alleanze e di equilibri di potere. Quella che non poteva essere altro che una risposta militare ad una serie di minacce, potrebbe quindi diventare inadeguata e soggetta ad una immediata neutralizzazione o eliminazione in caso di scoppio di ostilità nucleari. Egualmente, le attuali Potenze nucleari potrebbero reagire con contromisure e/o tentare di rendere più forte la loro posizione nella regione, e quindi intensificare la loro corsa agli armamenti. I paesi nucleari debbono anche affrontare i problemi relativi all'installazione di sistemi di controllo sulle armi nucleari all'interno dei propri confini; infatti non soltanto ci si deve premunire contro eventuali errori ma anche contro le tensioni che si creerebbero, qualora dovesse scoppiare una grande guerra civile, poichè a causa della presenza di armi nucleari potrebbero essere enormemente aggravate. Se questi problemi non vengono risolti, adeguatamente aumenteranno i pericoli per la sicurezza sia di

quella nazione che del mondo intero.

E' presumibile che per queste ragioni il sorgere di una quarta e poi di una quinta potenza nucleare non ha stimolato ulteriori proliferazioni negli ultimi tre anni. Ma la situazione mondiale non presenta certo aspetti di stabilità, perfino lo stato d'ansietà per la proliferazione delle armi nucleari, che le maggiori potenze chiaramente condividono, non ha ancora portato a misure di disarmo nucleare.

E' chiaro che ogni corsa agli armamenti assorbe risorse che potrebbero essere usate per elevare il livello di vita in una nazione. Inoltre lo sforzo per migliorare le condizioni di vita è più efficacemente perseguito quando prodotti tecnologicamente avanzati possono venire liberamente scambiati tra i paesi; questo processo è invece ostacolato da reciproche paure e sospetti connessi alla corsa agli armamenti. Si ritiene che gli usi pacifici dell'energia nucleare, sebbene oggi poco numerosi, nei prossimi anni verranno ad assumere una importanza sempre maggiore per la prosperità del mondo. Molti sono gli stati membri dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA), che è stata fondata con lo scopo di "accelerare ed accrescere il contributo dell'energia atomica per la pace, la salute e la prosperità del mondo intero". Negli ultimi anni si è raggiunto un accordo sulla necessità di sviluppare un sistema di garanzie comprendenti ispezioni destinate ad assicurare che i materiali e gli impianti per attuare un programma di utilizzazione pacifica dell'energia nucleare non siano indirizzati a fini militari. In nessun caso l'AIEA incoraggerebbe scambi diretti a favorire l'acquisizione di armi nucleari. Il successo della missione dell'AIEA potrà essere di enorme importanza per il progresso pacifico di tutto il mondo.

III. LA QUESTIONE DELLE ARMI TATTICHE

Un secondo motivo, oltre la ricerca della "sicurezza attraverso la deterrenza", che potrebbe incoraggiare la proliferazione, è l'opinione che le armi nucleari costituiscano una forma di armamento superiore sul piano tattico alle armi convenzionali. Qualche esperto militare ritiene che gli eserciti potrebbero usare simili armi sul fronte di una zona di combattimento. Se soltanto una delle parti che si affrontano disponesse di armi nucleari, e si sapesse che è disposta ad usarle per raggiungere i suoi obbiettivi incurante delle ripercussioni internazionali, è possibile che questa possa trarre un vantaggio dal timore che avrebbe l'avversario per la minaccia di un loro impiego - cioè si avrebbe un potere di dissuasione nei confronti delle iniziative dell'avversario - più che dal loro impiego effettivo. E' anche possibile che, se due potenze nemiche fossero in possesso di armi nucleari - qualunque sia la loro reale natura - e ne facessero esplodere una, due o anche di più, arresterebbero poi il combattimento perchè, avendo osservato le conseguenze del loro impiego si renderebbero conto che il conflitto potrebbe trasformarsi in una devastazione generale che sfugge al loro controllo.

Ciò è possibile, ma è assai più probabile che avvenga il contrario. E' in effetti difficile credere che nel primo caso un paese non possessore di armi nucleari, le cui relazioni con uno stato confinante siano tese, potrebbe fornirsi di armi nucleari senza spingere il suo vicino a fare lo stesso o a cercare la protezione, in una forma o nell'altra, esplicita o implicita di una o più potenze nucleari. Allo stesso modo se nel perseguimento dei loro obbiettivi politici sorgesse un conflitto tra due potenze nucleari, una delle quali intendesse valersi dell'uso dei suoi ordigni nucleari, sarebbe difficile trovare un modo per fermare una volta iniziato il conflitto che si scatenerebbe. La rapidità della risposta e l'esperienza delle operazioni militari del passato non incoraggiano certo a conclusioni opposte. Da quanto è stato detto nei primi capi-

toli risulta chiaramente che, se ambedue le parti di un conflitto facessero ricorso alle armi nucleari, è molto improbabile che nel combattimento terrestre esistano situazioni in cui tali armi possano essere usate come mezzi tattici; oppure, qualora venissero impiegate in tal modo, siano poi in grado di conferire vantaggi militari sull'altra parte della zona di operazioni. Qualunque significato si possa attribuire alle armi nucleari tattiche, questo non può essere contenuto che nel concetto di deterrenza.

IV. LE ARMI NUCLEARI NEL CONTESTO POLITICO

Il terzo argomento, che a volte si porta a sostegno dell'acquisizione delle armi nucleari, è che l'indipendenza politica ne risulterebbe avvantaggiata e quindi aumentati il prestigio nazionale e l'influenza del paese sulla scena internazionale. Si potrebbe obiettare a ciò che l'influenza di certe potenze nelle relazioni internazionali sarebbe la stessa sia che esse posseggano o meno armi nucleari. La questione dell'aumento di prestigio sembra così del tutto discutibile. Indubbiamente la dimostrazione di una elevata capacità tecnologica richiesta dallo sviluppo delle armi nucleari può costituire un elemento imponderabile di prestigio per breve tempo; questo prestigio presenta però molti aspetti negativi e può generare rapidamente quelle pericolose reazioni da parte degli stati confinanti di cui si è parlato precedentemente.

Ci si può domandare anche se l'acquisizione e il perfezionamento delle armi nucleari aumenti o no la sicurezza; il problema può essere risolto con due interrogativi molto semplici.

Il primo è il seguente: in che misura le armi nucleari hanno in effetti contribuito ad aumentare la potenza militare? Nei limiti in cui si può rispondere a questo interrogativo si può soltanto dire che le potenze nucleari non hanno mai subito aggressioni sul loro territorio, che lo stato di mutua deterrenza che regna tra le due super-potenze ha contribuito ad impedire qualunque conflitto diretto tra di loro ed ha in effetti imposto un nuovo tipo di limite alle loro reciproche manovre politiche, ma non ha reso peraltro possibile la riduzione delle spese militari in generale, o l'abbandono dei loro armamenti convenzionali in particolare. Su scala minore le stesse conclusioni possono essere fatte anche per quanto riguarda la Francia e la Gran Bretagna.

Nello stesso tempo, l'eventuale impiego di queste ar

mi trova indubbiamente notevoli limitazioni. Le conseguenze del loro impiego, sia da un punto di vista strategico che tattico, sarebbero così disastrose per ambedue le parti che è veramente difficile prevedere le circostanze in cui esse potrebbero essere utilizzate per fini utili da un punto di vista militare. Se le due parti di un conflitto posseggono armi nucleari, è completamente assurdo pensare che una di esse possa usarle senza provocare rappresaglie dello stesso genere da parte dell'avversario e qualora le rappresaglie venissero messe in atto, non è difficile supporre che il conflitto nucleare aumenti sempre di più d'intensità. Certamente la possibilità che ciò non avvenga non può essere esclusa; ma è molto più probabile il contrario. La situazione potrebbe naturalmente essere del tutto differente se solo una delle parti di un conflitto circoscritto dispone di armi nucleari. Ma a questo punto bisogna notare che i punti di vista sul valore delle armi nucleari come utili strumenti di guerra variano in relazione proprio al fatto che gli stati posseggano o meno armi nucleari. Così per esempio in questi ultimi venti anni il fatto di non disporre di armi nucleari non ha dissuaso alcuni paesi dal combattere sul proprio territorio o in vicinanza di stati che invece possedevano tali armi. In questi casi i paesi nucleari si sono resi conto che il possesso di armi nucleari e il loro impiego sul teatro di battaglia non avevano affatto reso meno impegnativa la condotta della guerra convenzionale. Per la verità dalla fine della seconda guerra mondiale nessuna potenza nucleare è stata in grado di trarre un vantaggio militare immediato dal possesso di tali armi e tanto meno di usarle per conquistare una facile vittoria.

Il secondo interrogativo è questo: in che modo il possesso di armi nucleari rafforza la potenza di una nazione, o in che cosa eventualmente la modifica? Rispondere a una questione di questo genere è molto più difficile. Sicurezza nazionale e potenza politica sono concetti molto vaghi; ci sono paesi che godono di entrambe a prescindere dal fatto di essere compresi tra le potenze militari di rango mondiale; allo stesso modo, se è vero che le potenze nucleari hanno esercitato talvolta un potere politico ed un'influenza economica di immense proporzioni negli affari mondiali, è anche vero che ci sono stati

momenti nella storia contemporanea in cui ciò non è avvenuto, a dispetto dell'enorme potenziale nucleare in possesso di questi stati. Analogamente, il fatto di avere armi nucleari non impedisce necessariamente una diminuzione di influenza politica. Se infatti l'acquisizione e il mantenimento di un arsenale nucleare imponesse ad un paese gravi sacrifici economici e tecnologici, è possibile che il possesso di un tale arsenale coincida con una riduzione - e non con un aumento - sia della sicurezza nazionale che dell'influenza politica del paese stesso.

V. CONCLUSIONI

Dato che lo stato di insicurezza delle nazioni è la causa della corsa agli armamenti (che a sua volta non fa che aumentare la stessa insicurezza) e nella misura in cui le armi nucleari sono il punto terminale di una categoria di armi che ha inizio con quelle convenzionali, il problema di invertire la tendenza di un rapido peggioramento della situazione mondiale richiede un riesame approfondito di tutti i suoi fattori. La soluzione del problema di garantire la sicurezza non può essere trovata nell'aumento del numero dei paesi in possesso di armi nucleari, come neppure nel mantenimento di esse da parte delle potenze che ne sono già in possesso. Un accordo che impedisca la proliferazione delle armi nucleari, liberamente negoziato e veramente osservato, secondo la raccomandazione delle Nazioni Unite, sarebbe perciò un grande passo avanti nella direzione giusta, come pure un accordo sulla riduzione degli arsenali nucleari attualmente esistenti. La sicurezza per tutti i paesi deve essere cercata attraverso la eliminazione di tutte le riserve di armi nucleari e l'eliminazione del loro uso per mezzo di un disarmo generale e completo.

Un trattato sulla sospensione totale di tutti gli esperimenti nucleari, che proibisca quindi anche quelli sotterranei, darebbe un valido contributo alla causa della non-proliferazione, contribuirebbe a frenare la corsa agli armamenti nucleari e sarebbe inoltre un efficace mezzo per garantire la sicurezza dei paesi non-nucleari. Altre zone denuclearizzate, oltre quella dell'Antartico e dell'America Latina, che coprissero la più grande estensione geografica possibile e l'esame costruttivo di altre misure di controllo degli armamenti e di disarmo sarebbero egualmente passi di grande importanza.

Queste misure sono qui menzionate non per difendere la loro causa, nè per stabilire un ordine di priorità tra di loro. L'analisi dell'intero problema dimostra che ciascuna di esse, o una loro qualunque combinazione, potrebbe contribuire ad

impedire l'ulteriore moltiplicazione delle potenze nucleari, o l'ulteriore sviluppo degli arsenali nucleari tuttora esistenti garantendo così la sicurezza di tutti i paesi e del mondo intero.

Ma bisogna rendersi anche conto che queste misure di limitazione degli armamenti, per quanto auspicabili, non possono da sole eliminare la minaccia di un conflitto nucleare. Esse devono essere considerate non come mete finali, ma solo come delle prime misure che potrebbero portare alla riduzione del volume degli armamenti nucleari, ad alleggerire le tensioni internazionali e finalmente all'eliminazione delle armi nucleari stesse. Tutti i paesi trarrebbero dei vantaggi da una situazione che conducesse alla coesistenza pacifica e stabilite. I paesi che non posseggono armi nucleari, come quelli che ne sono in possesso, dovrebbero operare insieme per creare una situazione in cui tutti possano avere libero accesso ai materiali, alle attrezzature ed alle informazioni, in modo che tutti possano beneficiare degli usi pacifici dell'energia atomica, promovendo così la sicurezza internazionale.

Il presente rapporto dà un semplice accenno delle conseguenze disastrose che deriverebbero dall'uso delle armi nucleari e tratta anche della qualità e della quantità dei sacrifici economici che esse impongono. Dalle valutazioni che in esso sono state fatte si può concludere senza esitazione che, qualunque possa essere in futuro il cammino della sicurezza nazionale ed internazionale, è certo che essa non potrà essere trovata in un'ulteriore proliferazione e perfezionamento delle armi nucleari. La minaccia degli incommensurabili disastri che colpirebbero l'umanità se scoppiasse una guerra nucleare, sia per errore che intenzionalmente, è così reale che le persone accorte di tutto il mondo attendono con comprensibile impazienza misure di disarmo che si aggiungano alle poche misure di limitazione degli armamenti già concordate: quali la limitazione degli esperimenti nucleari, la proibizione delle armi nucleari negli spazi ultra-atmosferici, e la denuclearizzazione dell'America Latina. Accordi internazionali contro l'ulteriore proliferazione delle armi nucleari e misure di controllo degli

armamenti nonchè di disarmo contribuirebbero alla sicurezza di tutti i paesi. Sono soprattutto le Nazioni Unite che hanno una responsabilità prevalente in questo campo; quanto più efficace sarà la loro azione, tanto più grande sarà la loro autorità, e tanto meglio sarà garantito il futuro della umanità; quanto più a lungo il mondo aspetterà, tanto più cresceranno gli arsenali nucleari e tanto più difficili e più grandi saranno i problemi da risolvere.

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1	Distribuzione delle vittime nei confini di una città	pag.	13
FIGURA 2	Effetti di una bomba da un megatone, esplosa al suolo, su una città di 1.660.000 abitanti	"	14
FIGURA 3	Effetti di una bomba da un megatone, esplosa al suolo, sulle costruzioni di una città	"	16
FIGURA 4	Servizi distrutti	"	16
FIGURA 5	Curva della quantità di dose, per unità di tempo del fall-out immediato provocato dall'esplosione al suolo di un ordigno da un megatone (velocità del vento = 24 km/h)	"	24
FIGURA 6	Stima della zona contaminata dal fall-out, in seguito ad un'esplosione su Amburgo. La dose di radiazione indicata è quella che potrebbe essere rilevata 48 ore dopo l'esplosione	"	24
FIGURA 7	Stima della zona contaminata dal fall-out in seguito ad un'esplosione da 15 megatoni sopra Londra. La dose di radiazione indicata è quella che potrebbe essere rilevata 36 ore dopo l'esplosione.	"	24
FIGURA 8	Distribuzione dell'energia emessa da una bomba a fissione fatta esplodere nell'atmosfera ad una altezza di circa 30.000 m	"	43
FIGURA 9	Energia termica emessa da una bomba da 20 kt in funzione della distanza e delle condizioni atmosferiche	"	43
FIGURA 10	Variazioni ambientali dovute all'effetto meccanico ed alle radiazioni termiche di esplosioni nell'atmosfera di ordigni		

	rispettivamente da 10 kt, 1 mt, 10 mt	pag.	46
FIGURA 11	Contorni dell'estensione totale del fall-out immediato ad 1 ora, 6 ore, 18 ore dopo la esplosione al suolo di una bomba a fissione nucleare da 1 mt (velocità effettiva del vento = 24 km/h). L'intensità delle radiazioni è misurata in roentgens (R). Un roentgen di radiazioni gamma corrisponde all'assorbimento di circa 87 ergs per grammo di aria	"	52
FIGURA 12	Curve di dose totale di esposizione, calcolata in roentgens, 96 ore dopo l'esplosione di un ordigno nucleare (esperimento BRAVO)	"	52
FIGURA 13	Costi del plutonio per armi nucleari in rapporto alla capacità annuale di produzione.	"	70
FIGURA 14	(Grafico ricavato dai dati della Tavola 17) Costo di un armamento nucleare ipotizzato, in relazione alle spese nazionali sulla difesa, educazione e sanità	"	102

INDICE DELLE TAVOLE

Tavola	1	Entità dei danni provocati da un ordigno nucleare da 20 kt esploso ad un'altezza di circa 600 m dal suolo	pag.	39
Tavola	2	Entità dei danni provocati da un ordigno nucleare da 1 mt esploso ad una altezza di circa 2.000 m dal suolo	"	41
Tavola	3	Distanze (in km a partire dal punto-zero) alle quali esplosioni nell'atmosfera di varie grandezze procurano scottature di I° e II° grado	"	44
Tavola	4	Prospetto degli effetti clinici di dosi acute di radiazioni ionizzanti	"	47
Tavola	5	Distanze (in km a partire dal punto-zero) in cui un'esplosione atmosferica emette determinate dosi di radiazioni nucleari iniziali	"	48
Tavola	6	Superfici contaminate e tasso di radiazioni rilevate dopo l'esplosione subacquea effettuata a Bikini nel 1946 di un ordigno nucleare da 20 kt	"	56
Tavola	7	Costi di produzione di circa 8 kg di plutonio di tipo militare	"	64
Tavola	8	Costi di produzione di 40 ed 80 kg all'anno di plutonio di tipo militare con un reattore di potenza da 350 MWth	"	66
Tavola	9	Costi di produzione di 80 e 160 kg all'anno di plutonio di tipo militare con un reattore per la sola produzione di plutonio	"	66
Tavola	10	Costi di produzione del plutonio metallico di tipo militare	"	68
Tavola	11	Costo dell'esperimento "Long Shot"	"	73
Tavola	12	Costo di un esperimento sotterraneo condotto in una miniera	"	74

Tavola 13 Costo dei vari programmi di produzione di testate base di plutonio pag. 77

Tavola 14 Costo del programma francese di produzione di testate nucleari " 78

Tavola 15 Ricapitolazione dei dati relativi ai costi di acquisto e di esercizio dei veicoli di lancio e dei vettori " 90

Tavola 16 Costo effettivo delle forze nucleari " 96

Tavola 17 Spese nazionali in dollari USA " 101

Supplemento a: IAI INFORMA - N. 5 del giugno 1969
Direttore Responsabile: Altiero Spinelli
Sped. abb. post. gruppo III

iai - documentazioni - n. 19 - Giugno 1969 L. 1.500

l'istituto affari internazionali ha sede in viale mazzini 88
tel. 315.892 - 354.456
00195 ROMA