



La corsa agli armamenti il caso nucleare

21 maggio 2019 Alessandro Pascolini

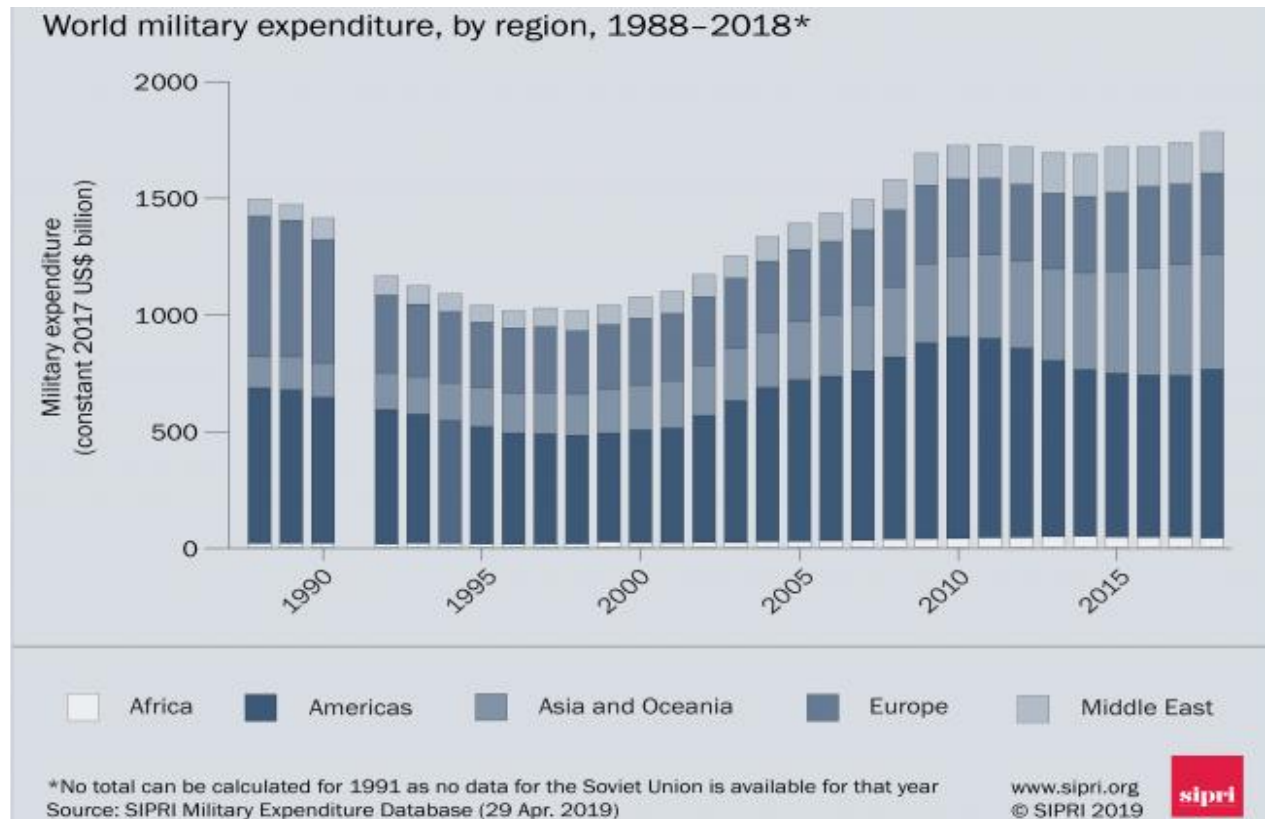
scienza e tecnologia per lo sviluppo di nuove armi

- armi cibernetiche
- droni
- armi autonome letali
- armi cinetiche
- veicoli ipersonici
- armi bio-chimiche
- sistemi anti-satellite
- armamenti nucleari



la corsa alle nuove armi

- assorbe enormi risorse
 - ▷ finanziarie (2,2% del pil mondiale: 230\$ per persona nel 2018)
 - ▷ cruciali competenze scientifiche e tecniche
- crea tensioni e crisi politiche internazionali
- produce e alimenta conflitti armati
- aumenta il potere del complesso industriale-militare all'interno dei paesi riducendo il controllo democratico



perché le armi nucleari hanno un ruolo centrale?

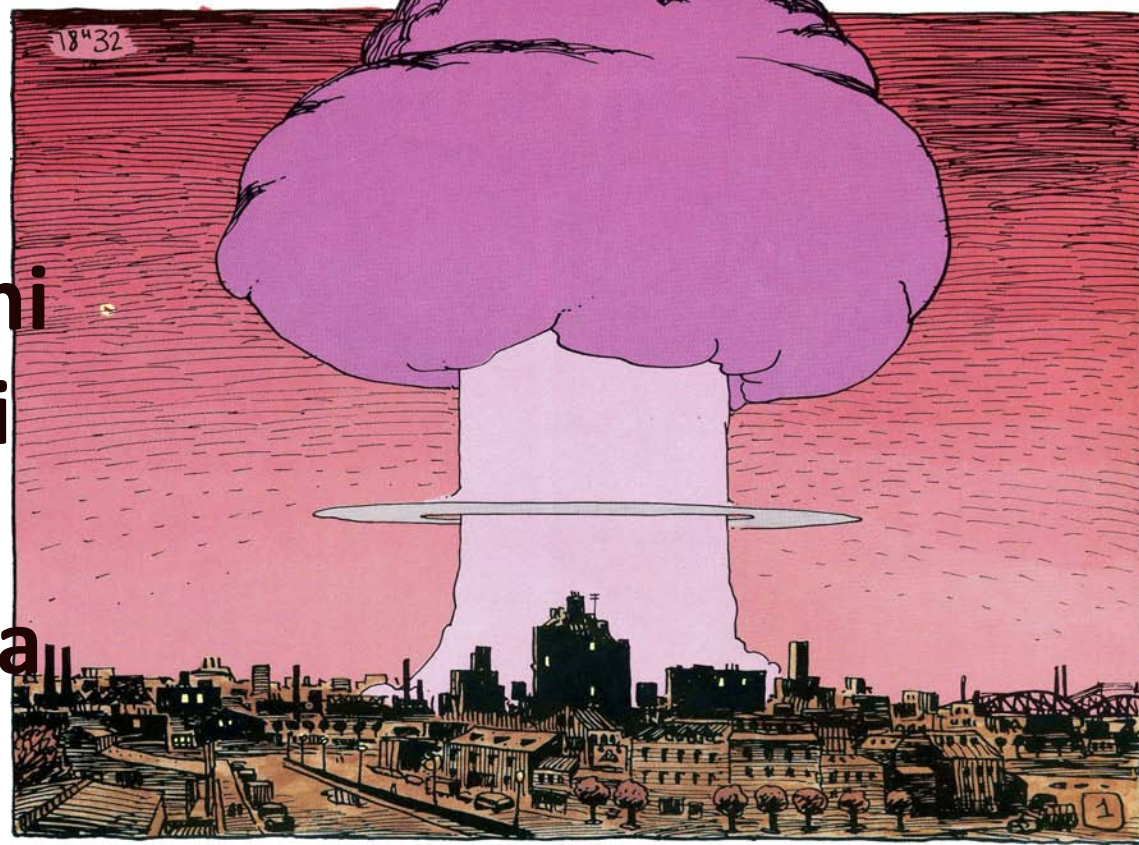
- **hanno effetti spaventosi: sono le uniche vere armi di distruzione di massa**
- **sono in numero eccessivo**
 - ▷ **rischio di incidenti, errori, usi non autorizzati**
- **siamo in una fase di ulteriore sviluppo tecnologico**
- **sviluppo di strategie destabilizzanti**
- **sono presenti in aree di crisi**
- **pericoli di proliferazione**
- **esistono enormi quantità di materiale fissile**
 - ▷ **rischio di terrorismo nucleare**
- **inversione del processo di disarmo e controllo**
- **scarsa attenzione dell'opinione pubblica mondiale**



le armi nucleari sono al centro del confronto politico internazionale e in larga parte ne dettano l'agenda

le armi nucleari

- ♦ potenza: basata sui fenomeni naturali più energetici: fissione e fusione
- ♦ effetti specifici non esistenti per altre armi
- ♦ impatto su vasti spazi e tempi lunghi
- ♦ impossibilità di difesa



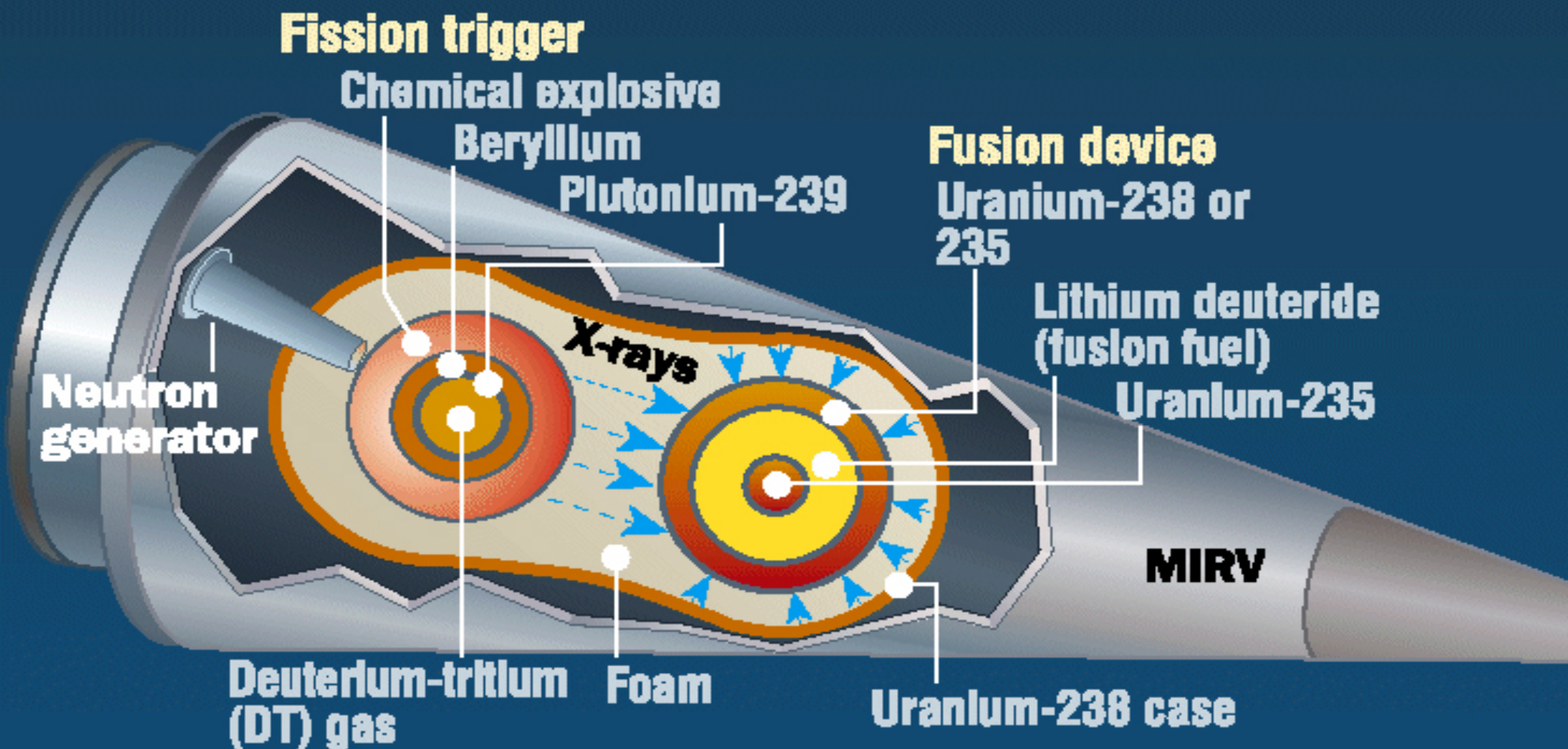
fissione e fusione nucleari

enorme densità di energia per unità di massa:

- fissione di 1 kg di uranio 235**
≈ esplosione di 10.000.000 kg di tritolo (10 kton)
- fusione di 1 kg di deuterio-trizio**
≈ esplosione di 40.000.000 kg di tritolo (40 kton)

una centrale elettrica da 1GWe “brucia”:

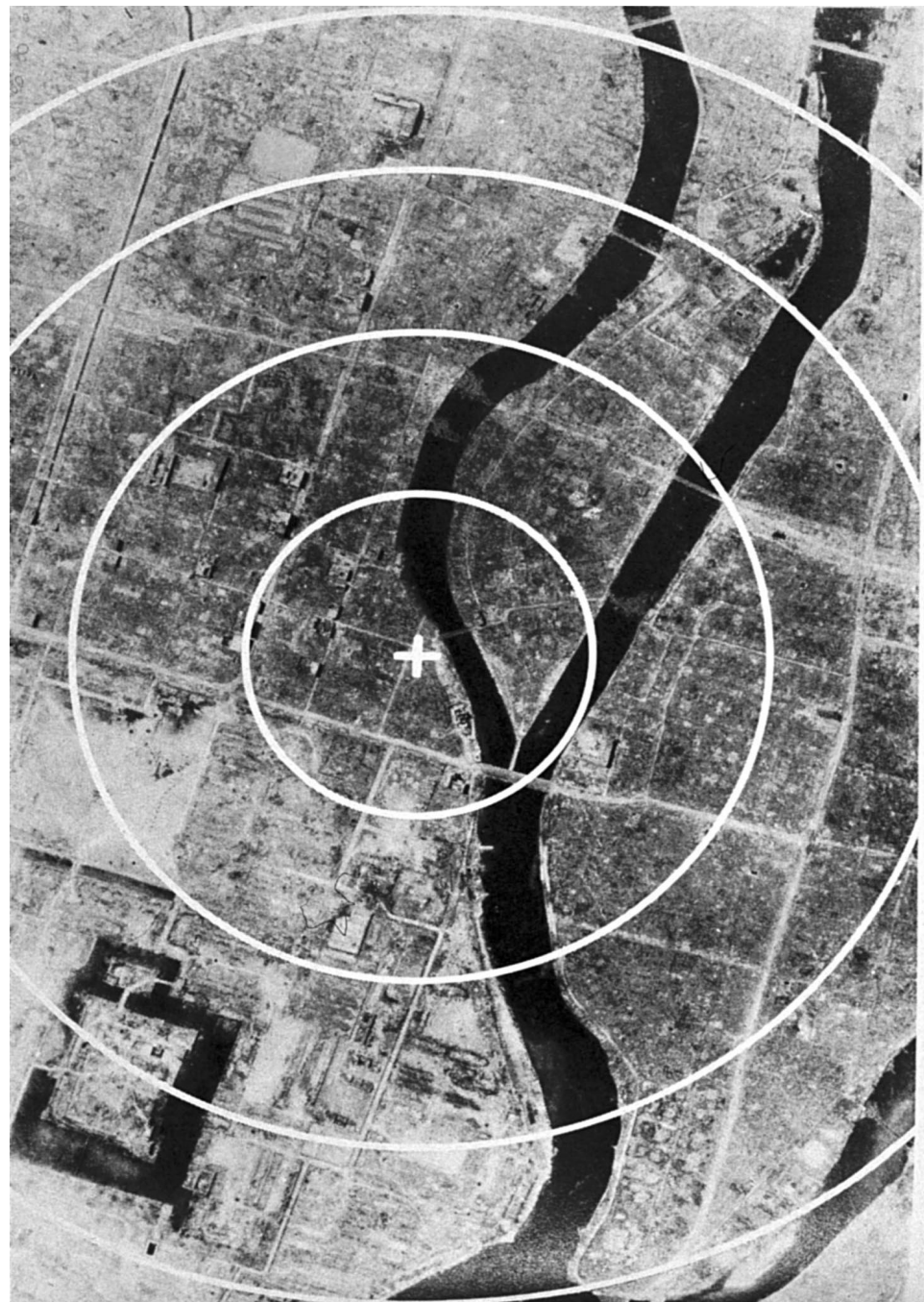
- ▷ uranio-235: ≈ 3,8 kg al giorno, ≈ 1,3 t all’anno**
- ▷ carbone: ≈ 6,85 milioni di kg al giorno**



MIRV length: 5.7 feet

MIRV base diameter: 1.8 feet

Explosive power: 300,000 tons of TNT



vittime a Hiroshima e Nagasaki

Distanza dall'epicentro	popolazione	%decessi	%feriti
Hiroshima			
0 - 1,0 km	31.200	86	10
1 – 2,5 km	144.800	27	37
2,5 – 5 km	80.300	2	25
totale	256.300	27	30
Nagasaki			
0 – 1,0 km	30.900	88	6
1 – 2,5 km	27.700	34	29
2,5 – 5 km	115.200	11	10
totale	173.800	22	12

distruzioni nella II guerra mondiale

Amburgo	luglio '43	8 giorni	3000 aerei	9000 t	42600
Dresda	febbraio 45	3 giorni	1249 aerei	3900 t	25000
Tokyo	marzo 45	3 giorni	279 aerei	1665 t	100000
Hiroshima	agosto 45	minuti	1 aereo	56 kg	69200



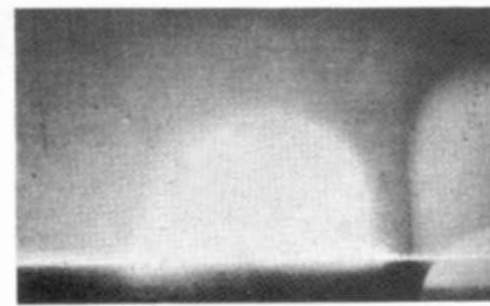
differenza da una distruzione convenzionale

le distruzioni di Dresda, Amburgo, Tokyo analoghe per vittime a Hirishima e Nagasaki, ma

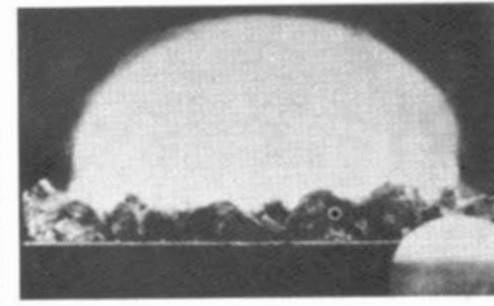
- niente effetti radioattivi locali o globali**
- frutto di molte azioni, non un singolo evento**
 - ▷ possibilità di interruzione**
- tempi lunghi**
 - ▷ possibilità di fuga**
- difese preventive possibili**

evoluzione di un'esplosione nucleare in aria:

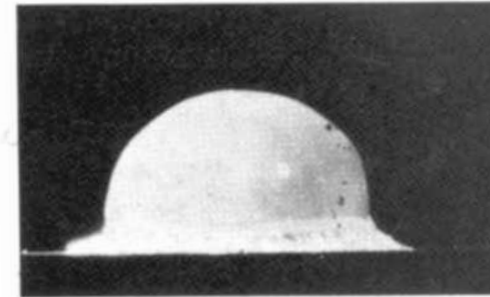
- ◆ la radiazione nucleare
- ◆ la palla di fuoco
- ◆ la nube radioattiva
- ◆ l'onda d'urto
- ◆ la ricaduta radioattiva



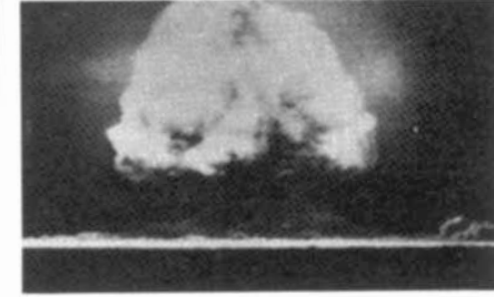
0.006 sec



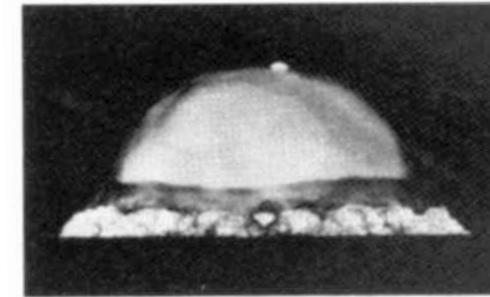
0.100 sec



0.016 sec



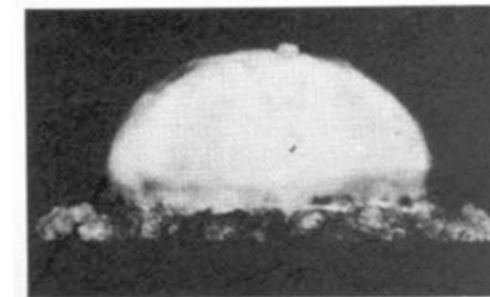
1.0 sec



0.034 sec



2.0 sec



0.053 sec



4.0 sec

effetti di una esplosione nucleare

◆ immediati

- ▷ la radiazione nucleare iniziale
- ▷ la radiazione termica
- ▷ danni meccanici
- ▷ l'impulso elettromagnetico

◆ ritardati

- ▷ la ricaduta radioattiva

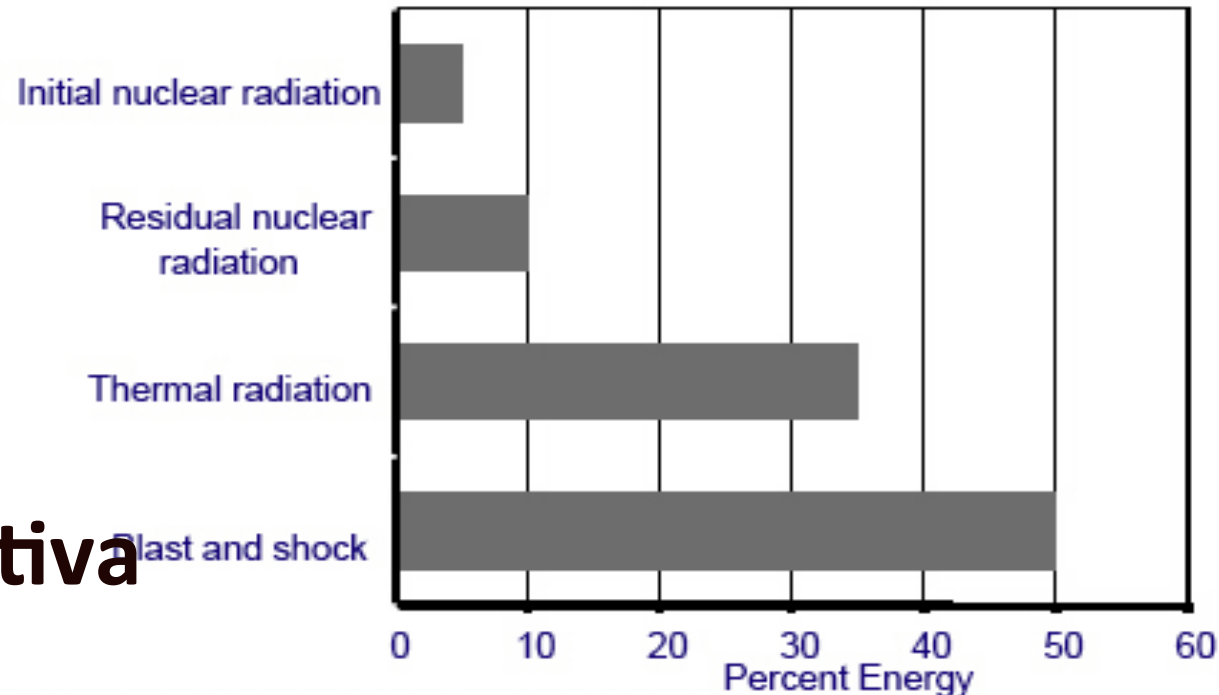


Figure 1. Distribution of Energy of an Air Burst below 100,000 ft

Area di devastazione mortale in km²

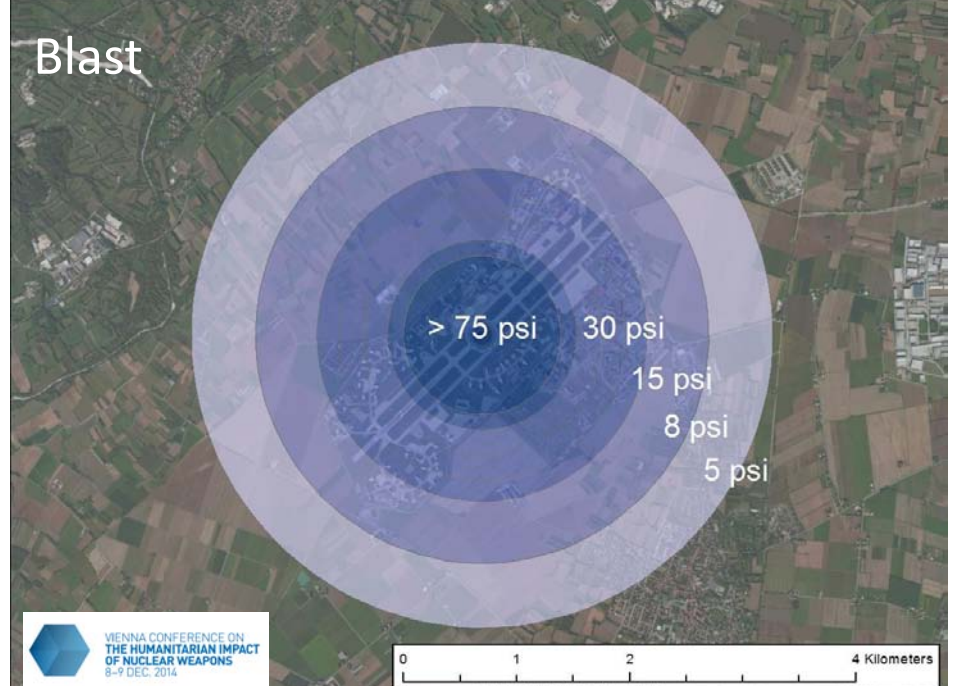
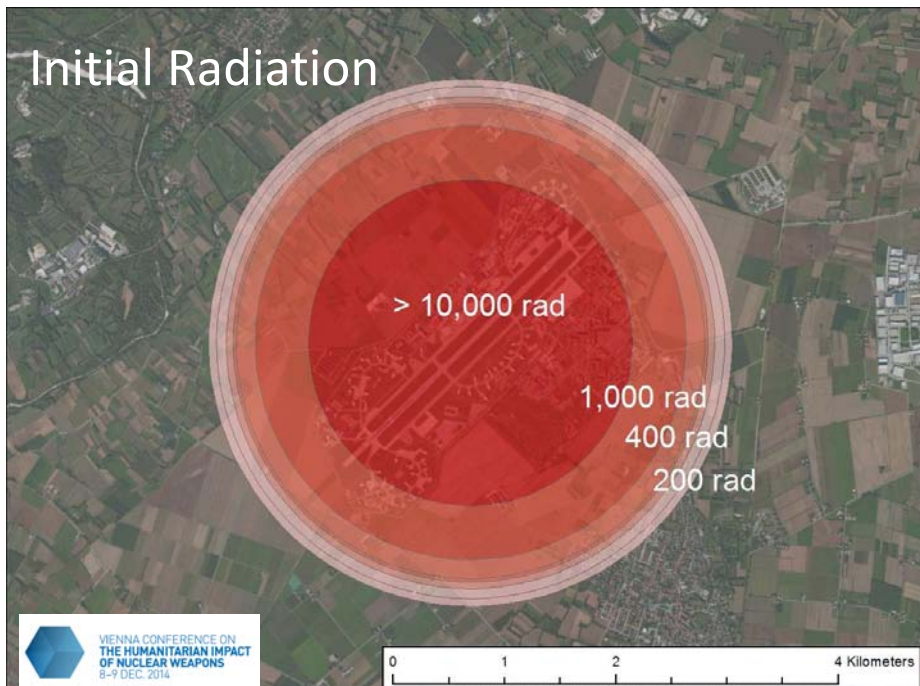
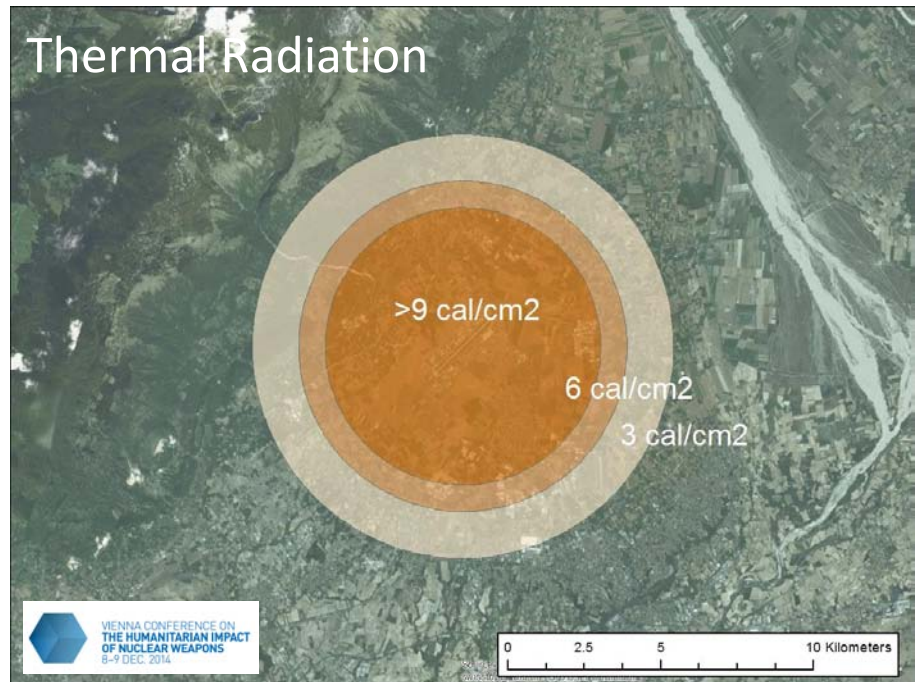
Effetto\ potenza	1 kton	10 kton	100 kton	1 Mton	10 Mton
meccanico	1,5	4,9	17,7	71	313
termico	1,3	11,2	74,2	391	1583
radioattivo	2,9	5,7	11,5	22	54

un tipico obiettivo – bomba da 200 kT





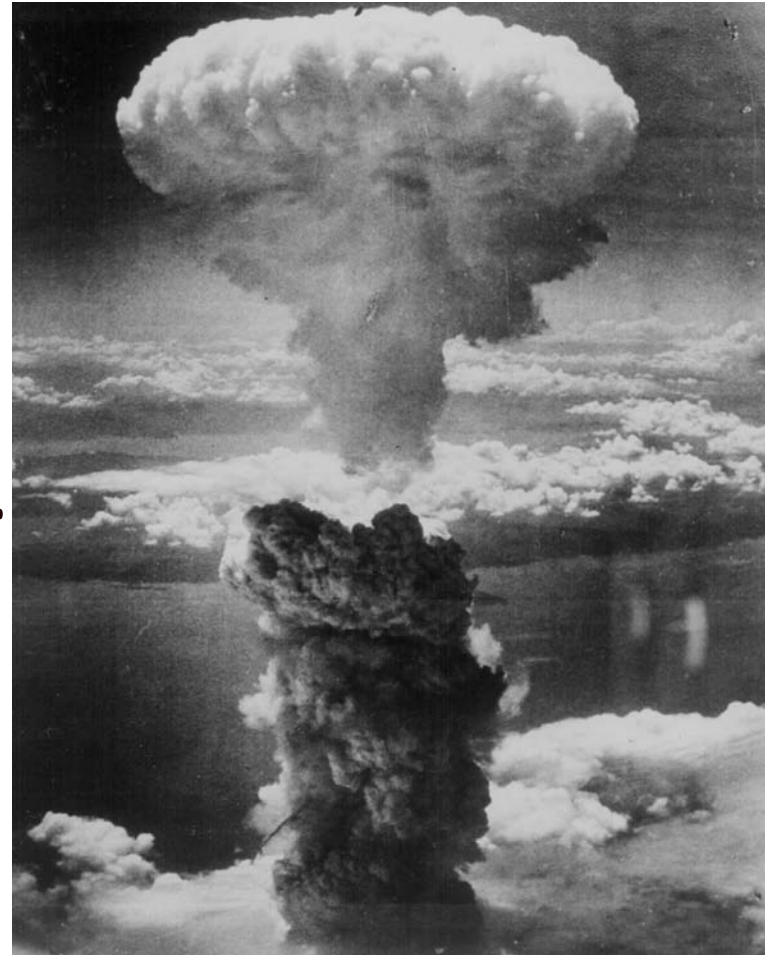
Thermal Radiation



la ricaduta radioattiva

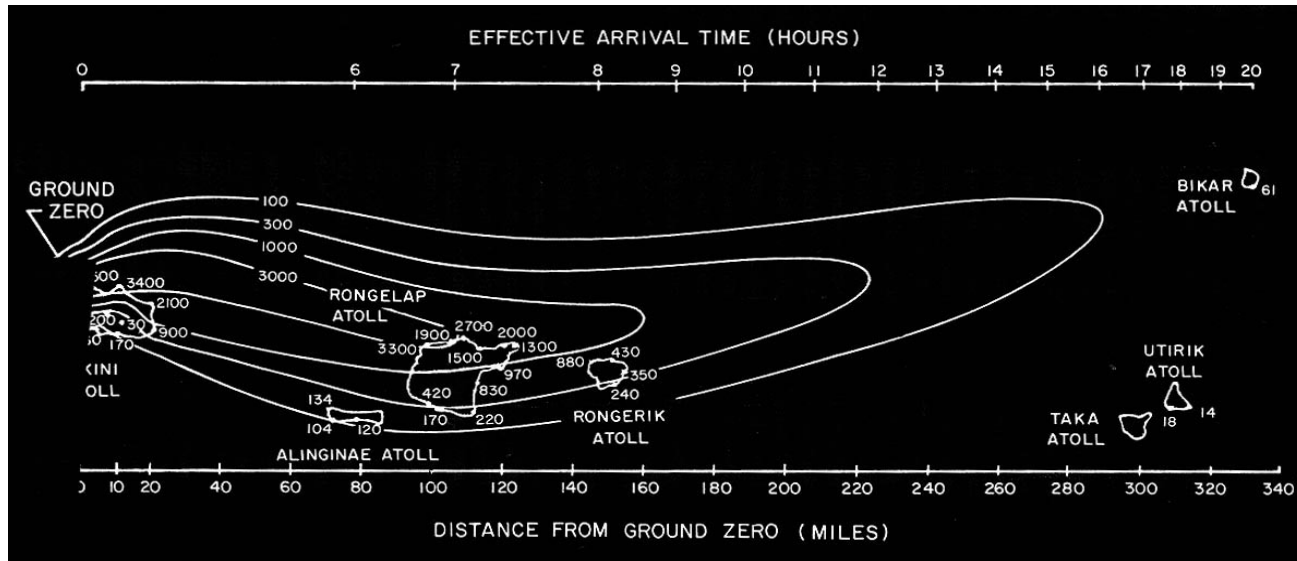
I materiali polverizzati della bomba e del suolo, divenuti radioattivi all'interno della nuvola, alla fine della fase turbolenta iniziano a cadere sotto l'effetto della gravità e costituiscono la così detta ricaduta radioattiva (*fallout*).

La radioattività di queste particelle decade solo in tempi lunghi ed è responsabile delle contaminazioni nucleari residue, che assorbono circa il 10% dell'energia totale dell'esplosione. Il fenomeno è particolarmente presente nel caso di esplosioni al suolo, che coinvolgono una grande quantità di materiale.

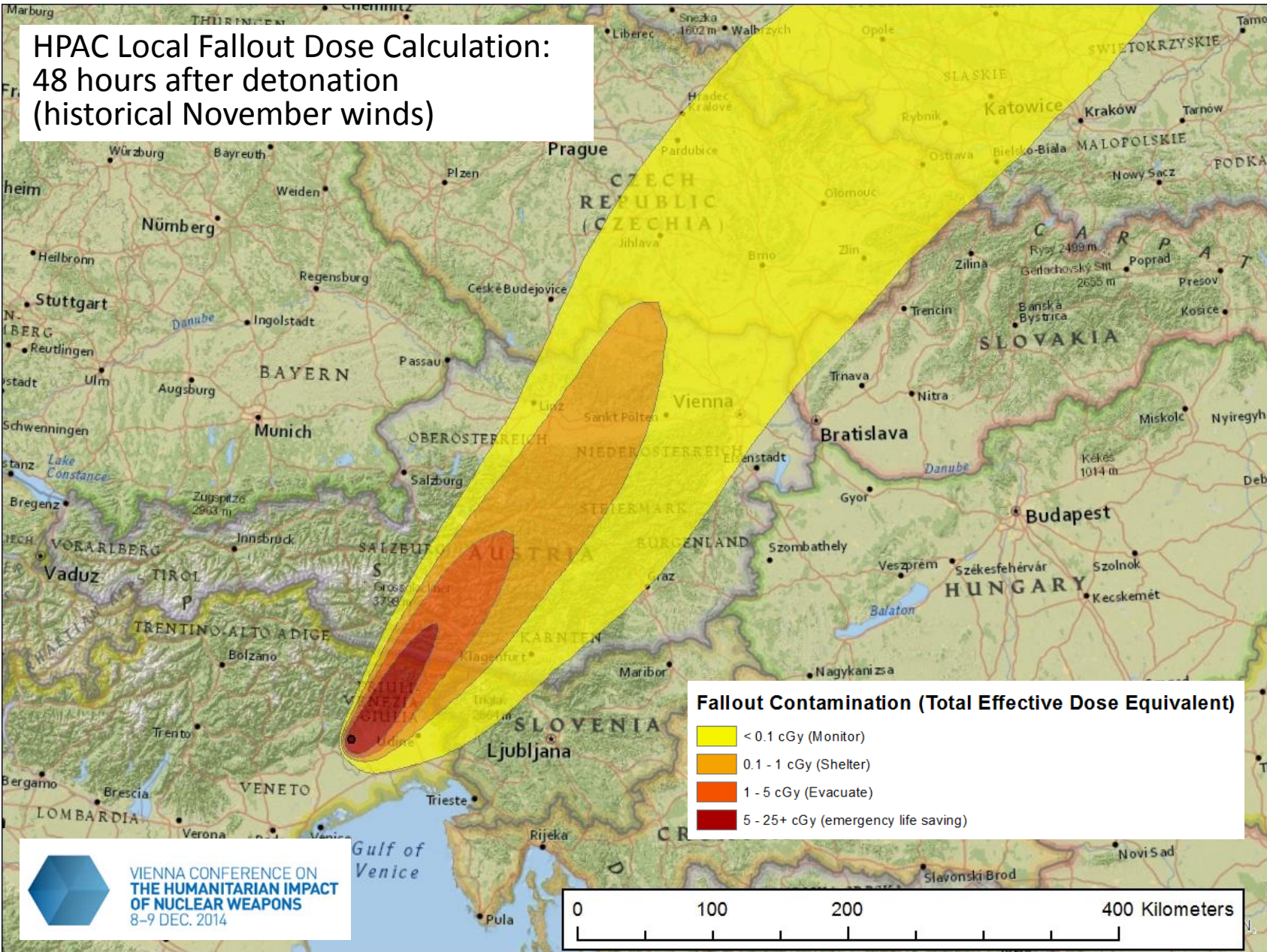


isotopi radioattivi principali del fallout

- ◆ di breve durata, efficaci solo in prossimità dell'esplosione
 - ▷ iodio-131 (tempo di dimezzamento 8,1 giorni)
viene assorbito dalla tiroide e si concentra nel latte
- ◆ di lunga durata, distribuiti su vaste zone
 - ▷ cesio-137 (tempo di dimezzamento 30 anni)
 - ▷ stronzio-90 (tempo di dimezzamento 28 anni)
simile chimicamente al calcio viene assorbito nelle ossa
 - ▷ carbonio-14 (tempo di dimezzamento 5600 anni)



Ricaduta a 48 ore



For an Unsheltered Population

	Best Estimate		
	Prompt	Fallout	Total
Fatalities	16,901	69,740	86,641
Injuries	6,304	150,559	156,863
Total Casualties	23,205	220,299	243,504

For a Sheltered Population

	Best Estimate		
	Prompt	Fallout	Total
Fatalities	10,169	16,208	26,377
Injuries	16,737	39,280	56,017
Total Casualties	26,906	55,488	82,394

effetti globali di una guerra nucleare

- ▷ **effetti immediati – “somma” delle single esplosioni**
- ▷ **effetti indiretti sull’ambiente e sul clima**

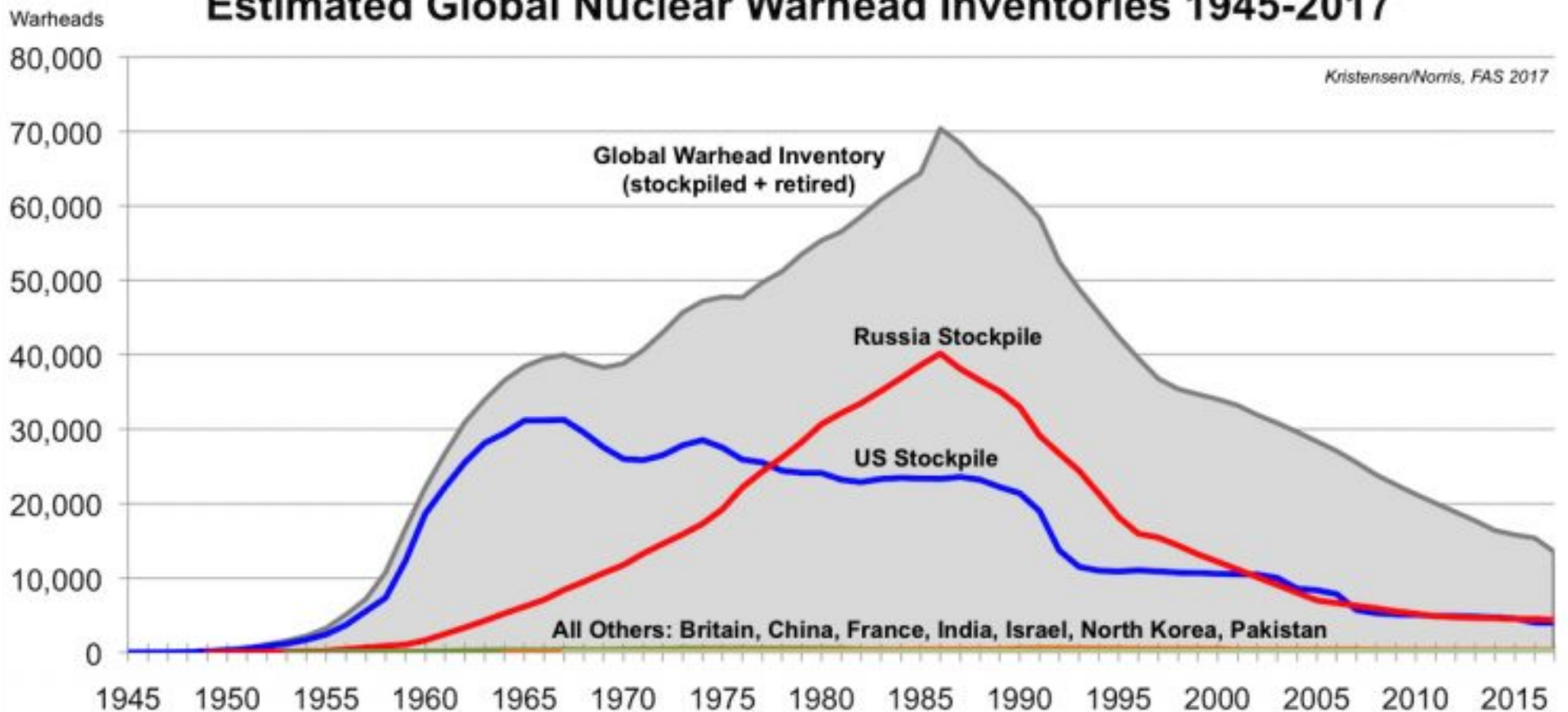
guerra nucleare regionale “limitata” tra India e Pakistan: 100 testate “piccole” (come quella su Hiroshima) fatte esplodere nelle aree urbane

- ▷ **circa 20 milioni di vittime entro una settimana per gli effetti diretti**
- ▷ **incendi su una vasta area, tempeste di fuoco, iniettano nella stratosfera fino a 6,5 milioni di tonnellate di fuliggine e detriti**
 - ⇒ **blocco della radiazione solare e calo significativo della temperatura media e delle precipitazioni in tutto il mondo per più di una decade**
 - ⇒ **questa interruzione ecologica diminuirebbe significativamente la produzione alimentare globale mettendo circa 2 miliardi di persone a rischio di carestia.**

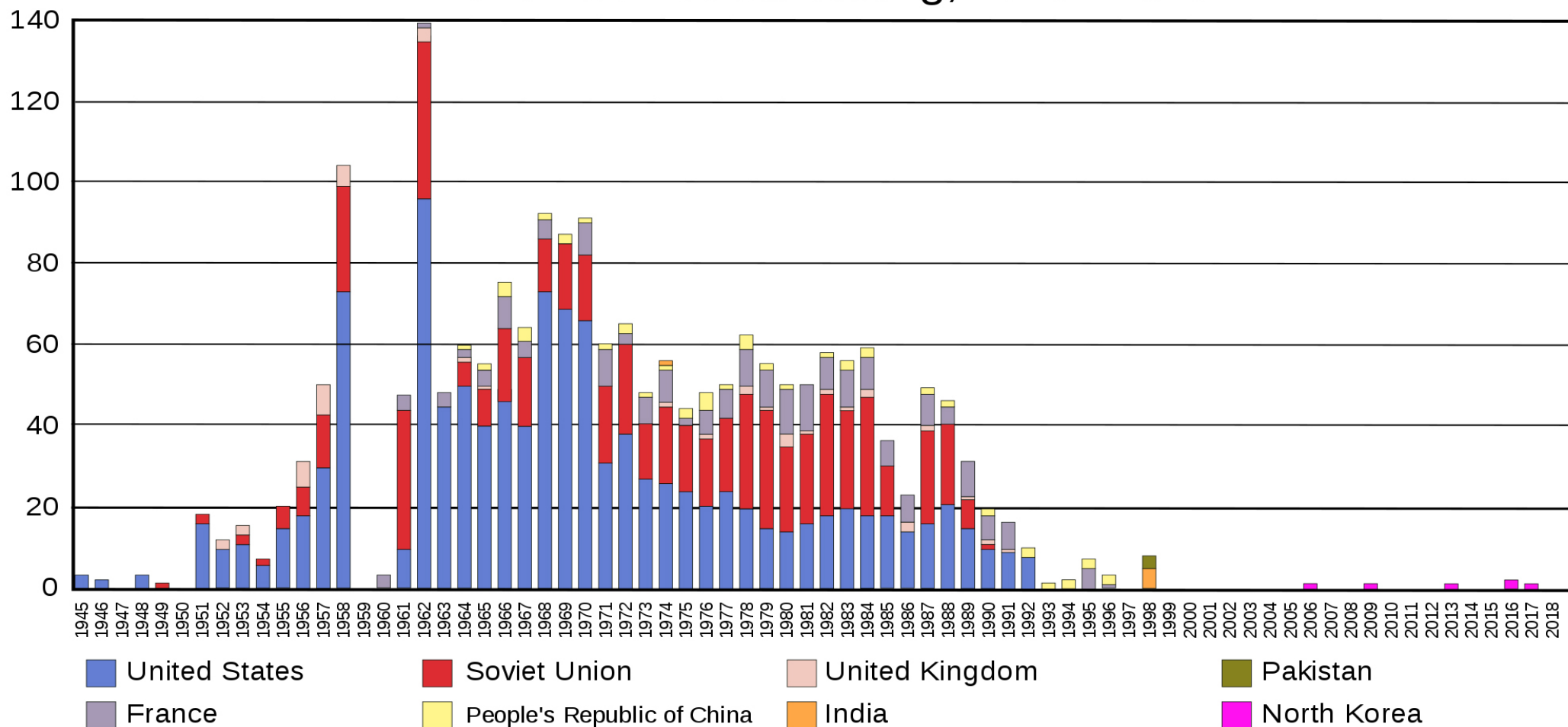
evoluzione temporale degli ordigni nucleari

- ▷ obiettivi “counterforce” richiedono la moltiplicazione degli ordigni finché non si creano vettori ad alta precisione

Estimated Global Nuclear Warhead Inventories 1945-2017

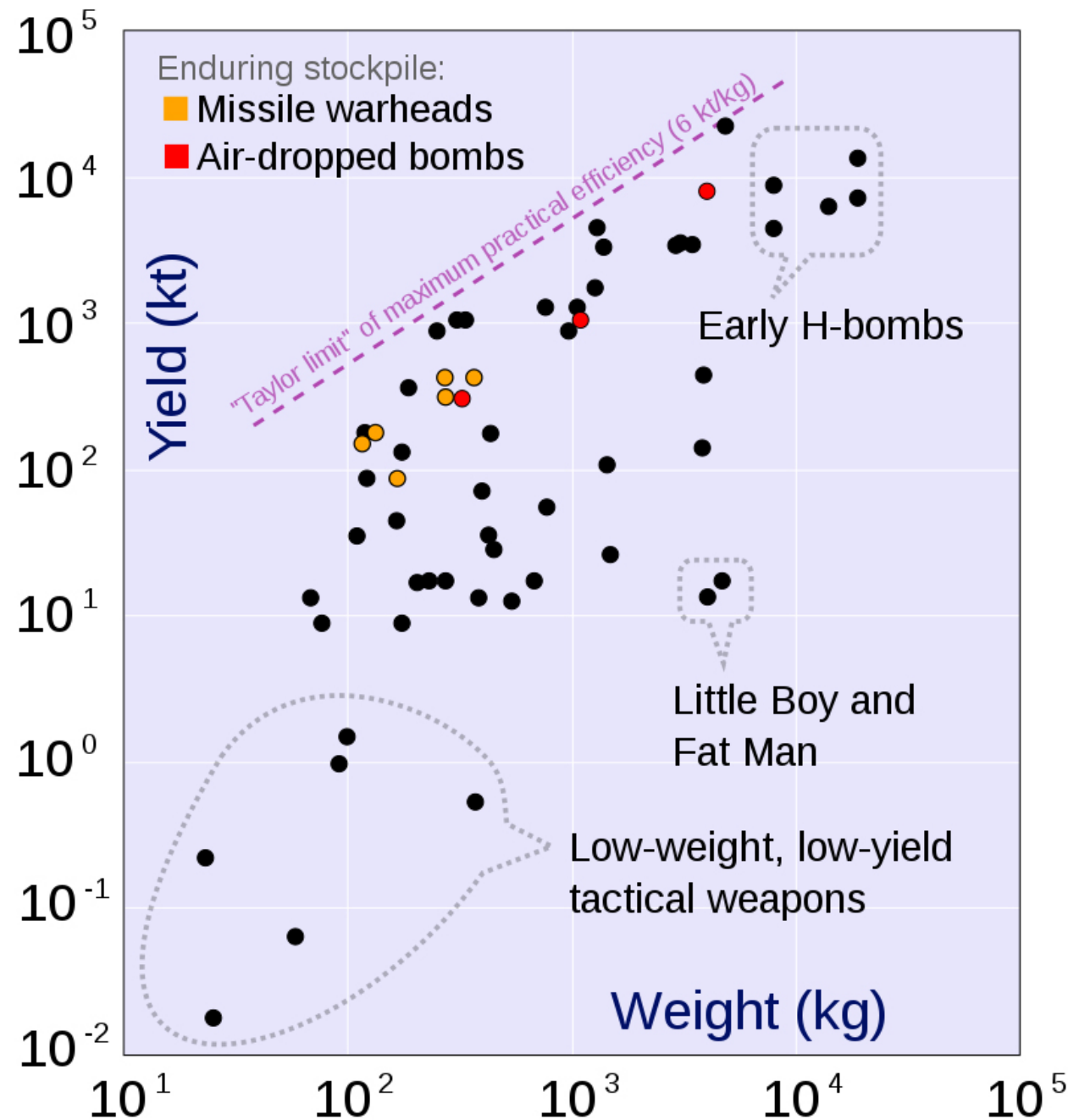


Worldwide nuclear testing, 1945 - 2018

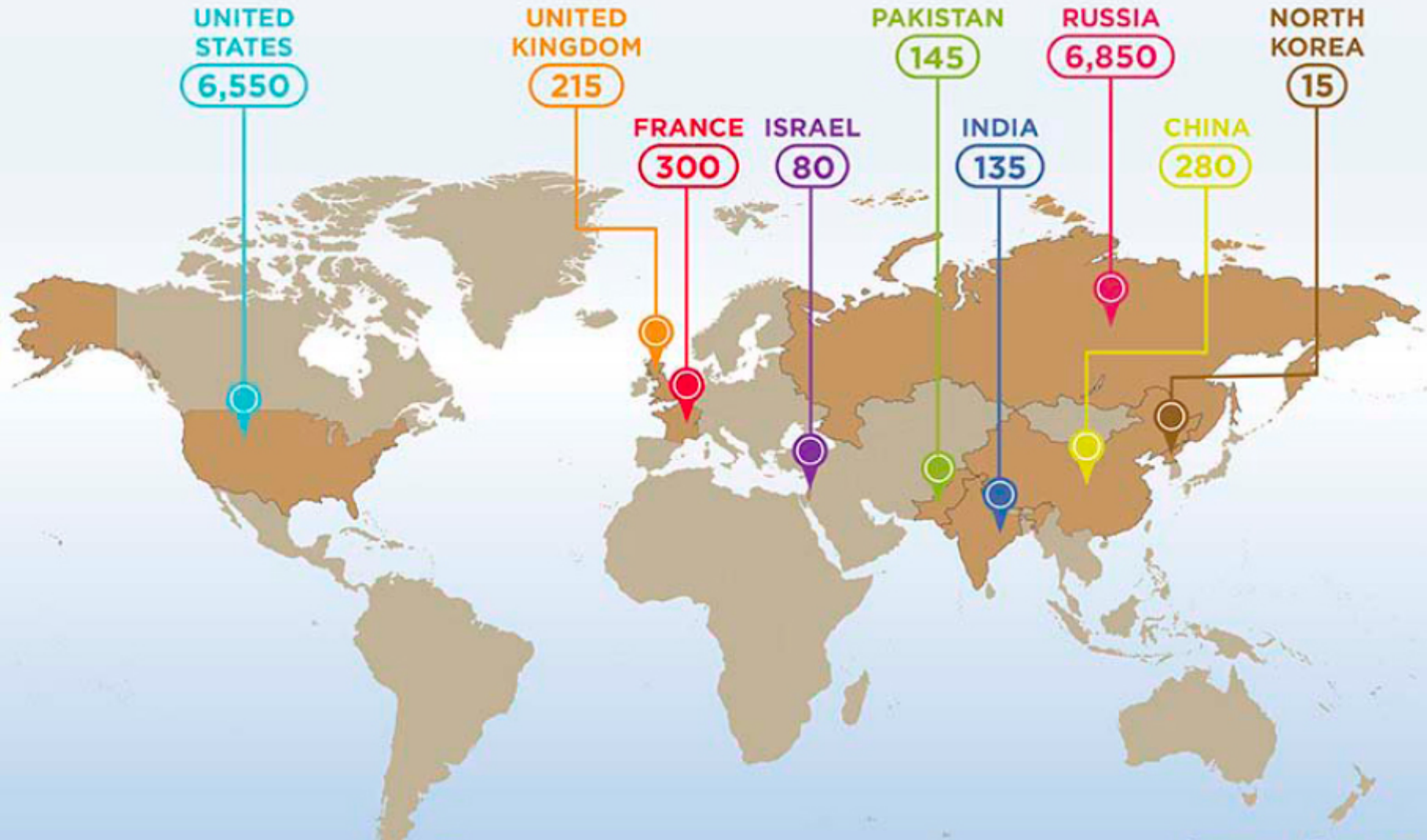


numero delle esplosioni nucleari

le principali bombe e testate nucleari americane



The world's nuclear-armed states possess a combined total of roughly 15,000 nuclear warheads; more than 90 percent belong to Russia and the United States. Approximately 9,600 warheads are in military service, with the rest awaiting dismantlement.



consistenza numerica degli arsenali nucleari

struttura degli arsenali nucleari attuali

- ◆ **triade operativa (ICBM, bombardieri e sommergibili)**
Russia, USA e anche Cina
- ◆ **triade in fase di avanzato completamento**
India e Israele
- ◆ **forze missilistiche e aeree Pakistan**
- ◆ **sommergibili e aerei Francia**
- ◆ **sommergibili Regno Unito**
- ◆ **forze missilistiche Corea del Nord**
- ◆ **forze aeree NATO**

problemi di sicurezza e di controllo

- ◆ **i controlli delle armi sono aumentati, ma rimane la possibilità di incidenti nei loro frequenti movimenti e di lanci accidentali o non autorizzati**
- ◆ **molti ordigni risalgono agli anni '80, con i conseguenti problemi di degrado tecnico, ma la loro eliminazione procede in modo estremamente lento**
- ◆ **molti errori, malfunzionamenti e falsi allarmi (*Nuclear 'Command and Control': a History of False Alarms and Near Catastrophes* di Eric Schlosser)**
- ◆ **possibili attacchi cibernetici ai sistemi di sicurezza, comando e controllo**

un costante grave pericolo

circa 1800 testate di USA e Russia sono mantenute in stato di brevissima allerta, con il rischio che interpretazioni errate o falsi allarmi in situazioni di crisi acute portino a decisioni irreparabili.

Per un falso allarme del gennaio 1995 ufficiali russi hanno confuso un razzo meteorologico norvegese per un missile lanciato da un sommergibile americano: la minaccia di un attacco nucleare percorse le gerarchie militari fino a Boris Yeltsin che giunse ad aprire la sua “valigia nucleare”

razionalizzazione del possesso delle armi nucleari

- ◆ atteggiamento coercitivo (implicito o esplicito)

coercizione: costringere altri a compiere azioni nel nostro interesse contro la loro volontà

- ◆ atteggiamento dissuasivo

deterrenza: dissuadere gli avversari dal compiere azioni contro il nostro interesse rendendo credibili rappresaglie

- ▷ deterrenza nucleare: dissuadere gli avversari dall'impiegare armi nucleari contro di noi

- ▷ deterrenza nucleare estesa: dissuadere gli avversari dall'impiegare armi nucleari contro noi o nostri alleati

deterrenza nucleare – minaccia di rappresaglia

l'enormità della devastazione delle armi nucleari comporta che

- ◆ nessun obiettivo politico concepibile può giustificare il rischio di assorbire una devastante rappresaglia nucleare**
- ◆ l'obiettivo primario delle armi nucleari non è il loro impiego, ma la prevenzione del loro uso**

è la motivazione dichiarata degli armamenti di tutte le potenze nucleari, ma...

la “nuclear war-winning capability”

i comandi militari hanno sempre puntato al possesso di tecnologie e capacità che possano far sperare in una strategia disarmante dell'avversario in una “first strike capability” e far credere che “nuclear war is winnable”

This would be a position so superior that, whatever the initial forms of nuclear exchange, one's own surviving capacity would be enough to destroy the war-making ability of the other nation without comparable return damage.

deterrenza nucleare: condizioni operative

- ◆ **second strike capability:**
la capacità di assorbire un attacco nucleare avversario mantenendo forze nucleari sufficienti per una reazione di rappresaglia
- ◆ **effettivo controllo di tutti gli apparati e forze armate**
- ◆ **arms control**
 - ▷ **creazione e mantenimento di una stabilità strategica**
 - ▷ **limitazione dei sistemi ABM, ASAT e ASW**
 - ▷ **eliminazione controllata di sistemi da first strike**
 - ▷ **informazioni sicure sulle forze e dottrine nucleari**
- ◆ **no first use position**

deterrenza “ampliata”:

dissuadere gli avversari da ogni azione militare minacciando (o rendendo credibili) rappresaglie nucleari

- ▷ **strategia della NATO durante la guerra fredda**
- ▷ **dottrina militare inglese**
- ▷ **dottrina militare francese**
- ▷ **dottrina militare pakistana**
- ▷ **posizione israeliana**
- ▷ **dottrina militare russa (Putin 2018)**
- ▷ **nuclear posture review americana (2018)**

la minaccia è poco credibile per il disaccoppiamento di fatto fra armi convenzionali e nucleari e il rischio di ritorsioni nucleari

evoluzione delle armi strategiche

◆ dinamica dettata

- dalle esigenze militari**
 - ▷ basate su “wost-case analysis”**
- dagli sviluppi tecnologici**
- dal confronto con gli avversari**
- dalla competizione interna fra le diverse armi**
- dalla pressione del settore industriale**

◆ limitato controllo politico

- attraverso il finanziamento**
- a seguito di accordi e trattati internazionali**
- reazioni dell’opinione pubblica**

programmi di modernizzazione

tutti i paesi nucleari (Cina, Russia e USA in testa) stanno sviluppando nuovi ambiziosi progetti mirando ad armamenti più precisi e finalizzati a una vera *war fighting capability*

sono in cantiere 27 categorie di nuovi missili balistici, 9 missili cruise, 8 vascelli navali, 5 diversi bombardieri, 8 tipi di testate e 8 fabbriche di armi nucleari

questi programmi minacciano di prolungare indefinitamente nel tempo l'era delle armi nucleari

motivazioni per la modernizzazione

- ❖ **sviluppi tecnologici che rendono le armi nucleari più efficienti**
- ❖ **la creazione da parte di un avversario di tecnologie sbilanciati come difese aeree e missilistiche, armi precise di grande gittata, sistemi antisommergibile o antisatellite**
- ❖ **la volontà di ampliare le capacità funzionali dei sistemi attuali**
- ❖ **l'obsolescenza degli armamenti attuali**
- ❖ **la competizione fra le differenti forze armate all'interno dei singoli paesi**
- ❖ **la prospettiva di rendere i vettori strategici più "utilizzabili" in una varietà di operazioni possibili**

Cina



JL-3 SLBM



H-6



MIRVed mobile DF-41

Francia



**Rafale F3 con nuovi
cruise ASPA**

**rinnovo della flotta
dei Triumphant**



India



Nirbhay



K-15 Sagarika SLBM



Arihant SSBN



MIRVed Agni-V ICBM

Israele



popeye



F-35I (Adir)



Jerico III IRBM

modernizzazione nucleare NATO

OLDER B61 NUCLEAR BOMB



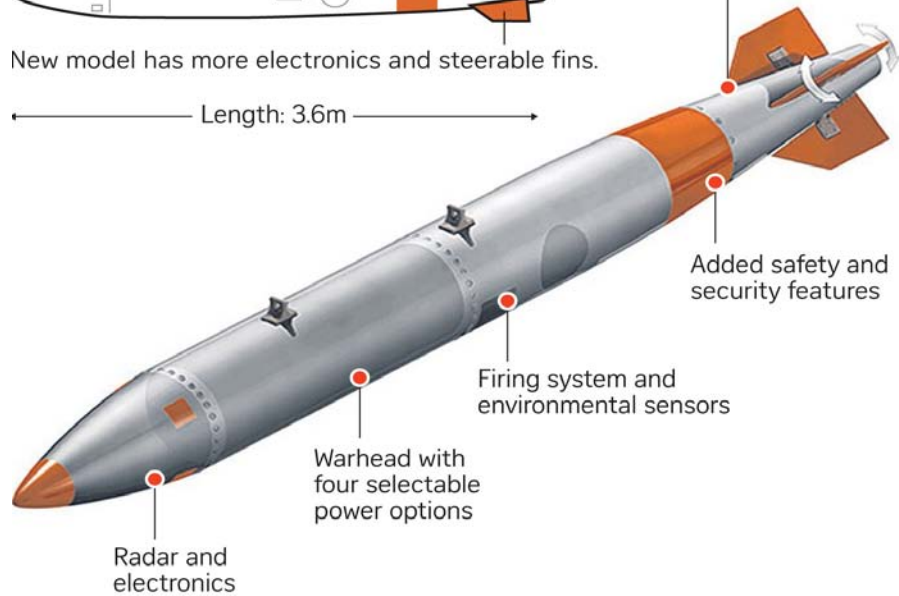
Old model had a parachute and a fixed tail section.

THE NEW VERSION: B61-12



New model has more electronics and steerable fins.

Length: 3.6m



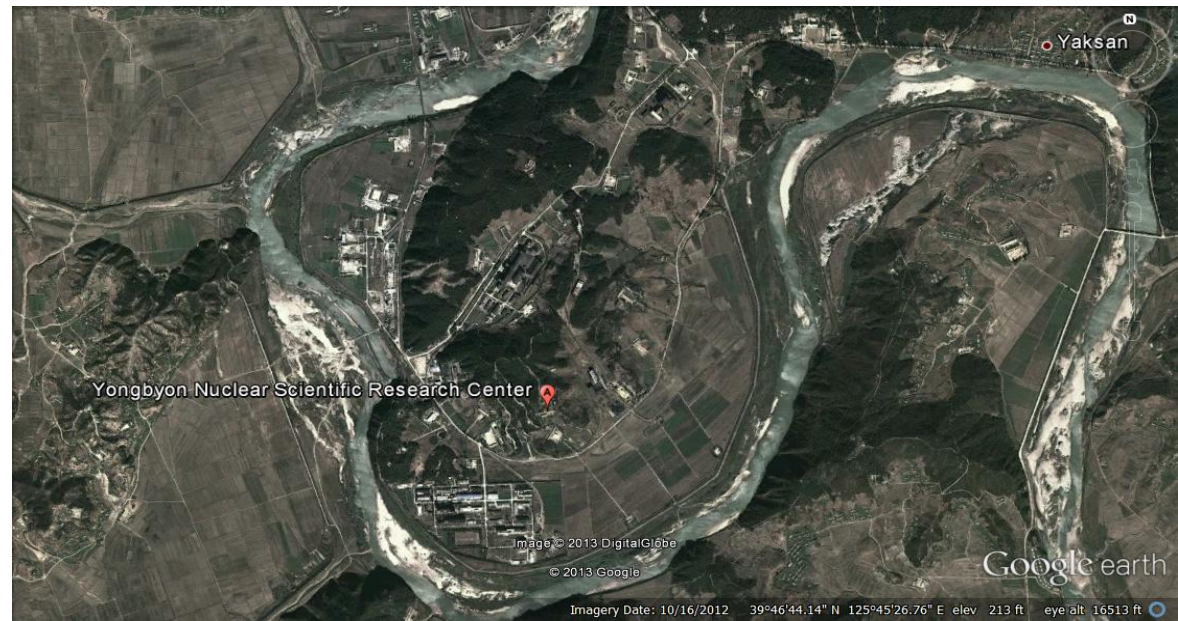
Source: Federation of American Scientists GRAPHICS ADAPTED FROM THE NEW YORK TIMES



Corea del Nord



il centro di ricerca di
Yongbyon



Pakistan



NASR (Haft-9) SRBM



Ra'ad ALCM (Haft-8)



Ababeel MIRV

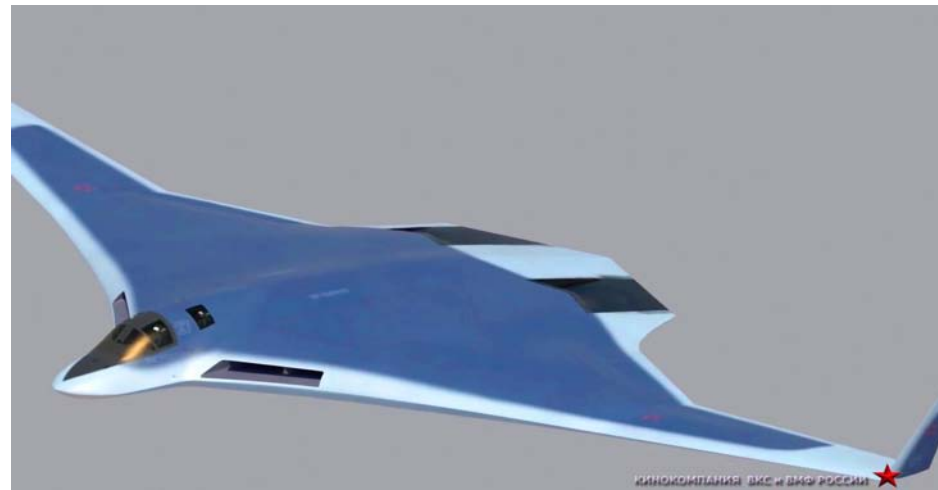
Regno Unito

**nuove testate
Trident II DS**



**nuova classe di
sommersibili**

Russia



PAK DA



RS-26 YarsM mobile



Borel SSBN con RSM-56

RS-28 (SARMAT)

©KATEHON.COM 2016

WEIGHT OVER	100 TONNES
WARHEAD	UP TO 15 MIRVS
ENGINE	4 RD-274 FIRST STAGE
PROPELLANT	LIQUID



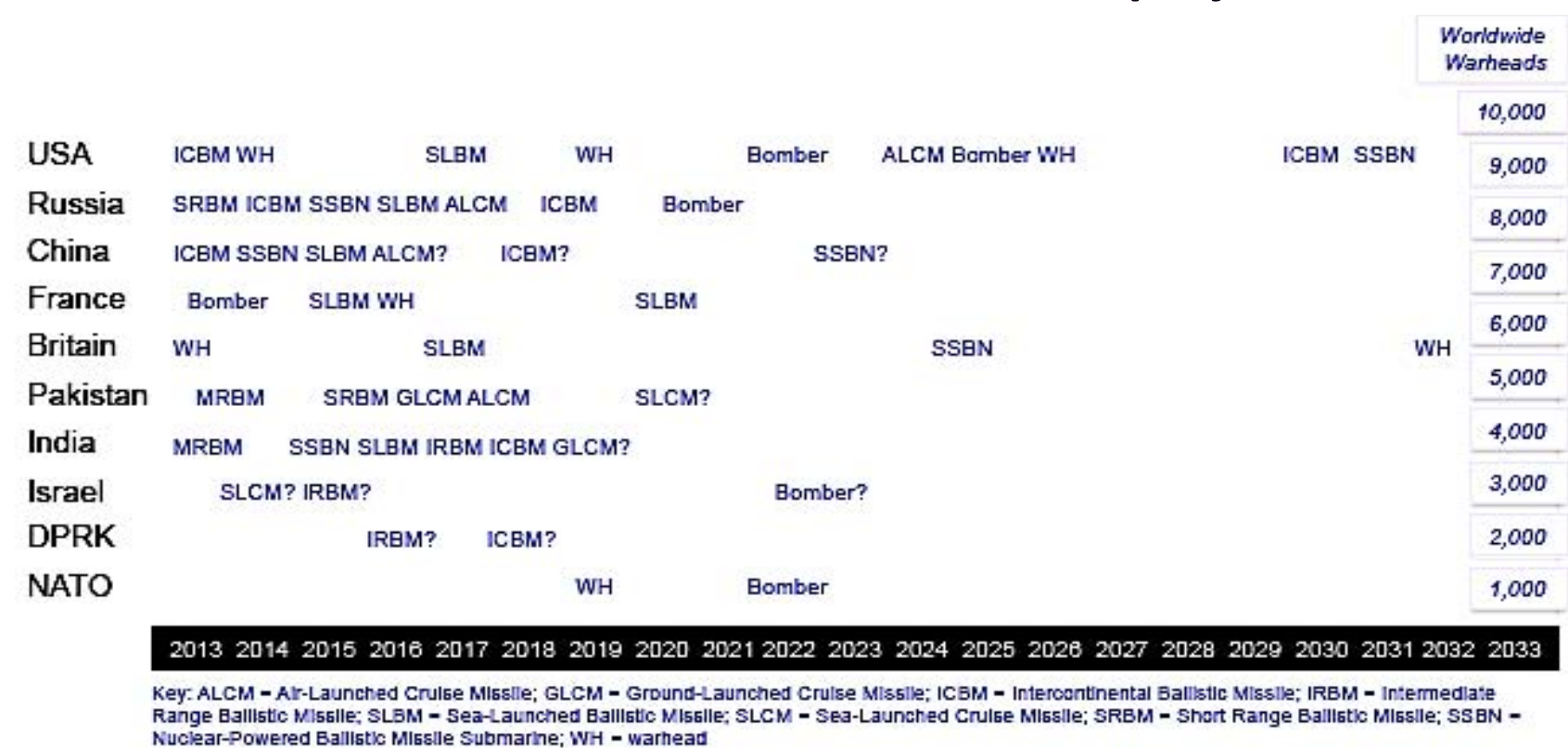
OPERATIONAL RANGE	APPROX. 10,000 LOMETRES (6,200 MI)
SPEED	OVER MACH 20 (24,500 KM/H; 15,220 MPH; 6.806 KM/S)

Stati Uniti



nuclear modernization outlook

- the arsenals of Cina, India, Pakistan and DPRK grow
- overall reductions, but new qualitative capabilities
- the new systems will remain operational up to mid 2080s
- financial or technical limitations can hinder some projects

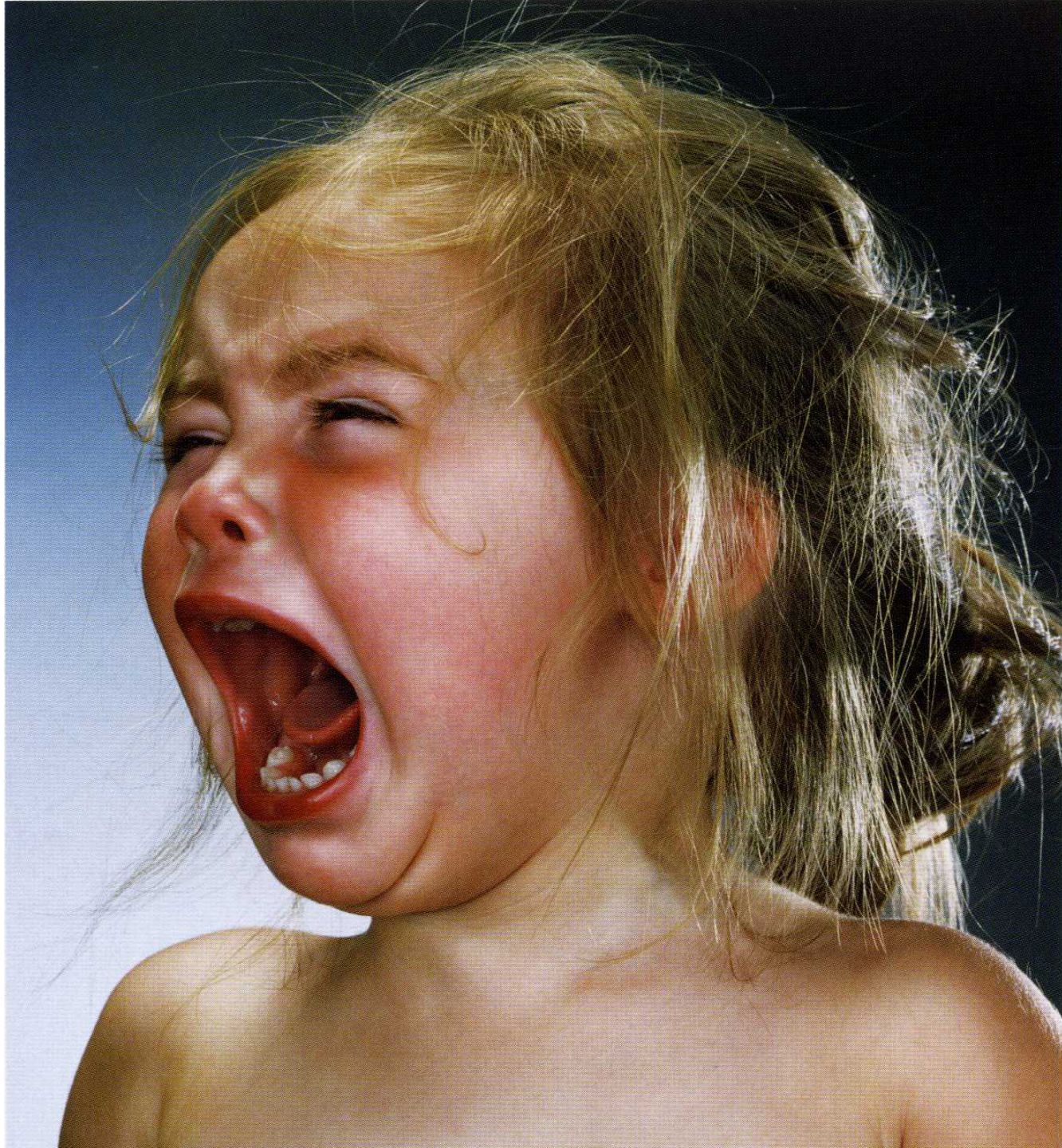


impatto delle modernizzazioni sulle missioni

- ❖ **i missili con gittata maggiore estendono la minaccia nucleare su aree più ampie: l'India può raggiungere la Cina, la Corea del Nord l'Alaska e la maggior parte dell'Asia orientale, l'Israele tutto il Medio Oriente ...**
- ❖ **i missili nucleari a gittata più corta sono estremamente destabilizzanti e favoriscono l'escalation nucleare**
- ❖ **la dotazione di testate MIRV riflette una strategia per colpire rapidamente più bersagli differenti e invitano gli avversari alla corsa agli armamenti**
- ❖ **i missili cruise nucleari aumentano i rischi di calcoli e percezioni errati e di destabilizzazioni anche per l'ambiguità del loro effettivo armamento convenzionale o nucleare**
- ❖ **la maggiore accuratezza dei vettori e l'aumento dell'efficacia delle testate rendono possibile distruggere obiettivi rinforzati con potenze più basse e minori danni collaterali e fallout**
- ❖ **la deterrenza viene di fatto sostituita da strategie miranti a piani d'attacco con una molteplicità di opzioni contro una diversa combinazione di bersagli, per differenti obiettivi a vari livelli di intensità**

impatto globale della modernizzazione

- ❖ **le potenze nucleari stanno riaffermando con decisione la loro dipendenza a tempo indefinito sulle armi nucleari come una componente essenziale delle loro sicurezza**
- ❖ **poiché la ricerca di nuovi tipi di testate nucleari o di vettori e la modifica dei sistemi esistenti creano nuove capacità, siamo di fronte a un ulteriore aggravamento delle tensioni e all'accelerazione di una corsa tecnologica agli armamenti globale e sempre più instabile**
- ❖ **la modernizzazione favorisce sospetti, una pianificazione basata sul caso-peggiore e competizione nucleare**
- ❖ **le tensioni regionali stanno diventando più complesse e rischiose**
- ❖ **la creazione di nuove strutture e la formazione di una nuova generazione di ricercatori e tecnici nucleari perpetua indefinitamente ulteriori modernizzazione**



rischi di proliferazione

aspetti tecnici

- **ripresa di programmi elettronucleari**
- **tecologie duali per il ciclo del combustibile**
 - ▷ **impianti di arricchimento dell'uranio**
 - ▷ **impianti di separazione del plutonio**

aspetti politici

- **sicurezza militare**
- **mantenimento del regime politico**
- **supremazia regionale**
- **miglioramento dello status interno ed estero**

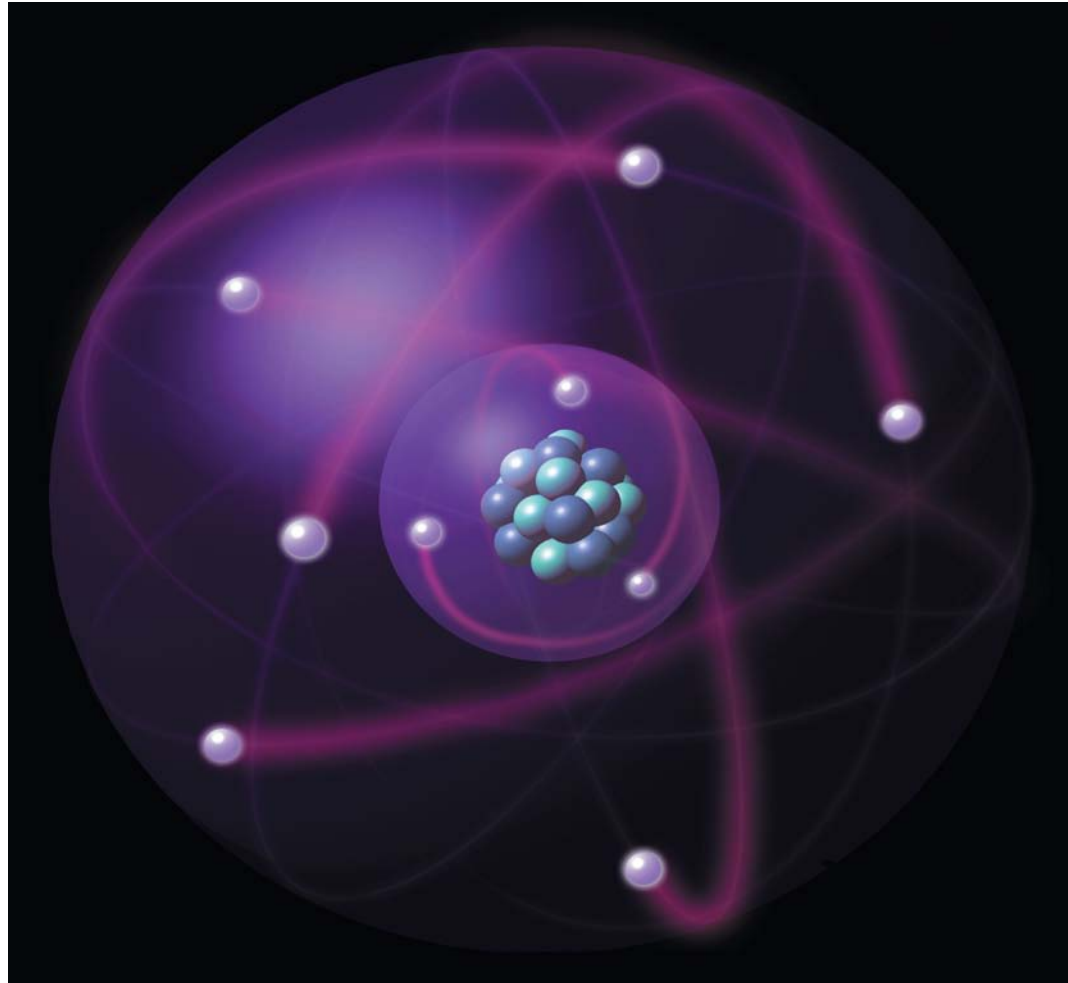
programmi di armi nucleari

Paese	Esplorazione	Sviluppo	Acquisizione
USA	1939-	1942-	1945-
URSS (Russia)	1942-	1943-	1949-
UK	1940-	1941-	1952-
Francia	1945-	1954-	1960-
Cina	1956-	1956-	1964-
Israele	1949-	1955-	1967-
India	1948-	1964-1966, 1972-1975	1980-
Pakistan	1972-	1972-	1987-
Corea del Nord	1962-	1980-	2006-
Sud Africa	1969-1991	1974-1991	1979-1991
Yugoslavia	1949-1962, 1974-1987	1953-1962, 1982-1987	
Brasile	1966-1990	1975-1990	
Corea del Sud	1970-1975	1970-1975	
Libia	1970-2003	1970-2003	
Iran	1974-1979, 1984-2015	1989-2015	
Iraq	1976-1991	1976-1991	
Germania (Reich)	1939-1945		
Giappone	1941-1945, 1967-1970		
Svezia	1945-1970		
Svizzera	1945-1969		
Norvegia	1947-1962		
Egitto	1955-1980		
Italia	1955-1958		
Australia	1956-1973		
Germania Ovest	1957-1958		
Indonesia	1964-1967		
Taiwan	1967-1976, 1987-1988		
Argentina	1978-1990		
Romania	1978-1989		
Algeria	1983-1991		

i processi di fissione e fusione riguardano i nuclei di certi atomi.

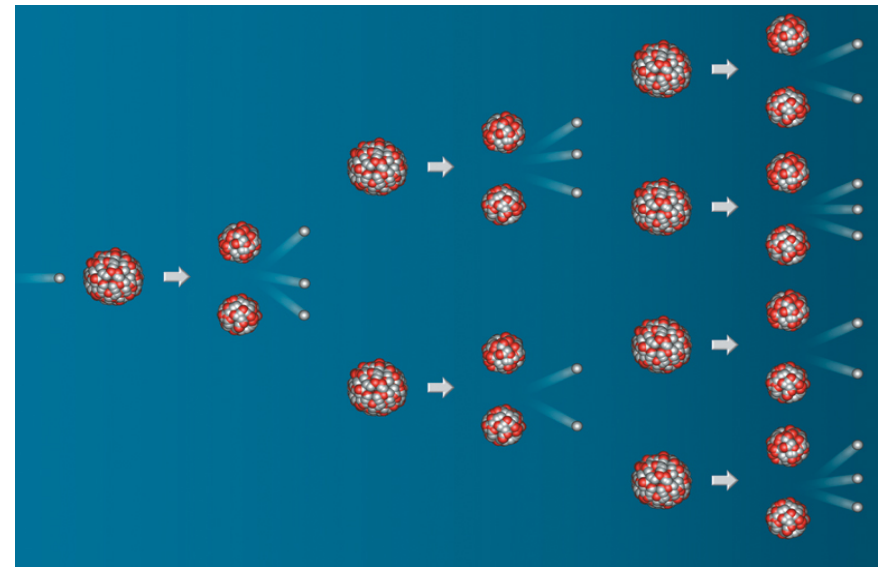
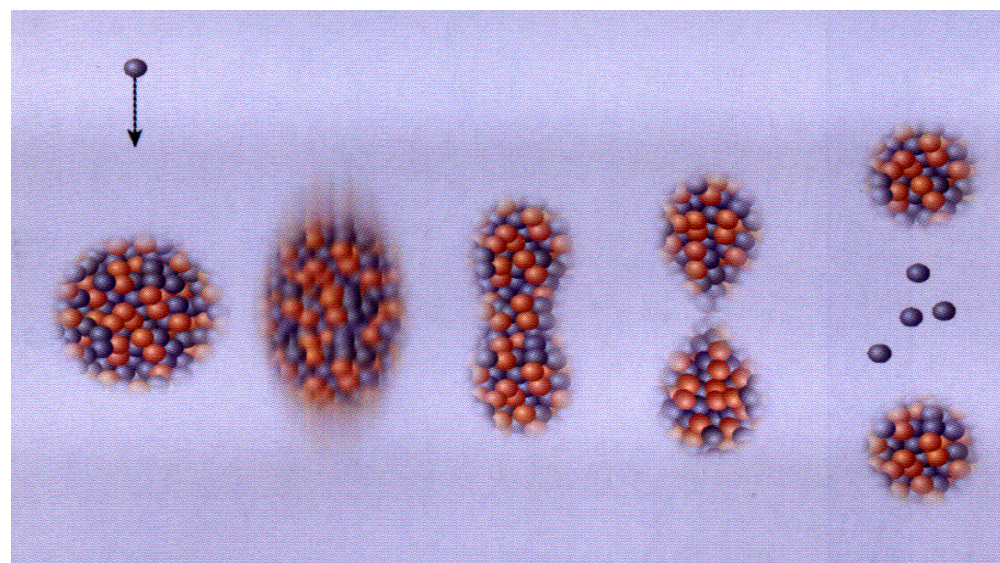
Il nucleo atomico è piccolissimo (150 mila volte più piccolo dell'atomo) e concentra tutta la massa atomica.

È composto da neutroni e protoni



**l'energia nucleare (militare e civile)
si basa sulla fissione di materiali speciali:**

- uranio-235 (92 protoni e 143 neutroni) raro
solo lo 0,72% dell'uranio naturale**
- plutonio-239 (94 protoni e 145 neutroni)
non esistente in natura**



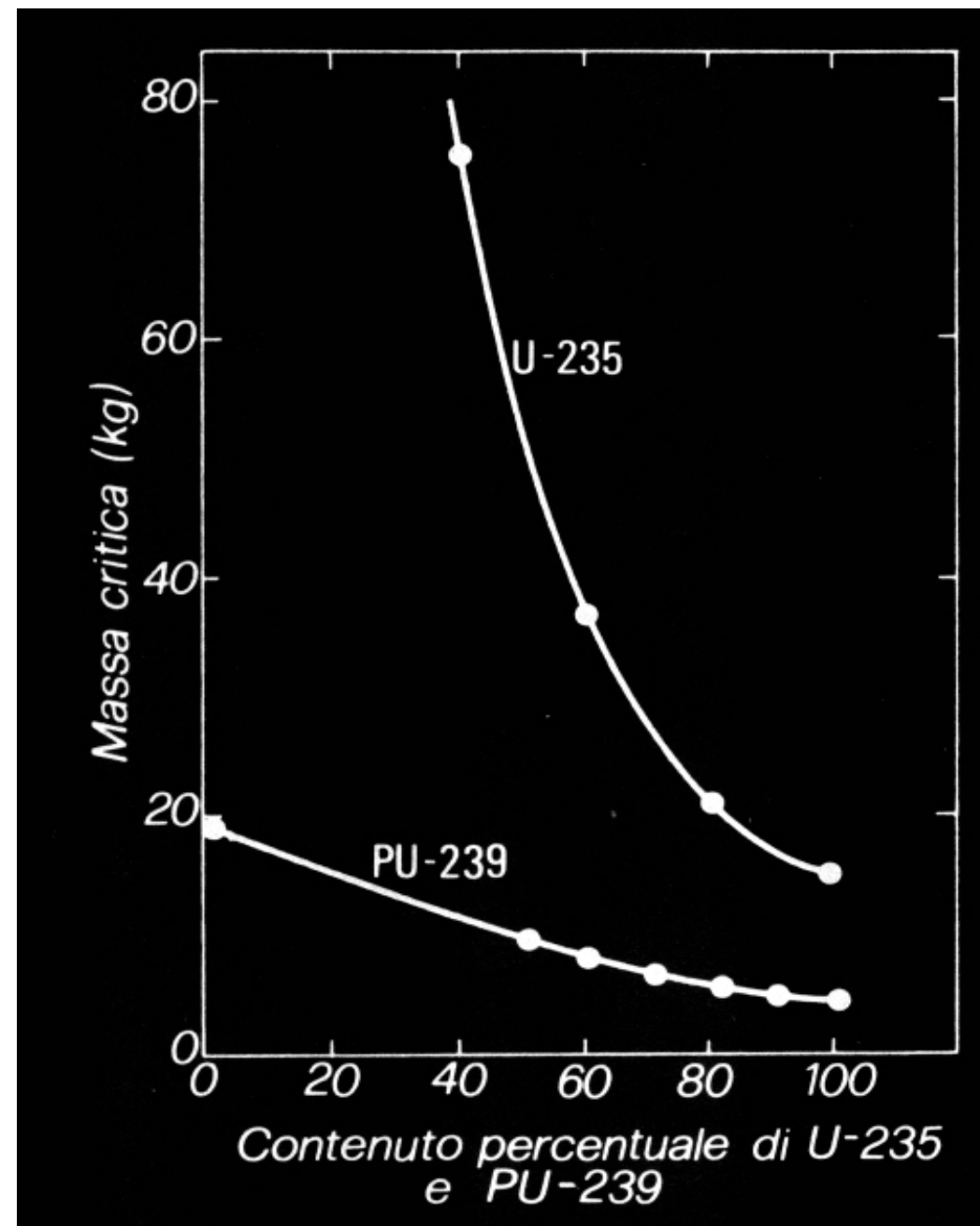
**la fissione nucleare: un nucleo assorbe un neutrone e si deforma
fino a spaccarsi in due; può iterarsi in una reazione a catena**

massa critica

parte dei neutroni liberati possono sfuggire dal materiale fissile, per cui occorre una quantità minima, sotto la quale non c'è reazione a catena.

Poiché sono fissili solo uranio-235 e plutonio-239, la massa critica dipende dalla percentuale di questi nuclidi presente nel combustibile

- per le bombe si usa uranio e plutonio di purezza superiore al 90%

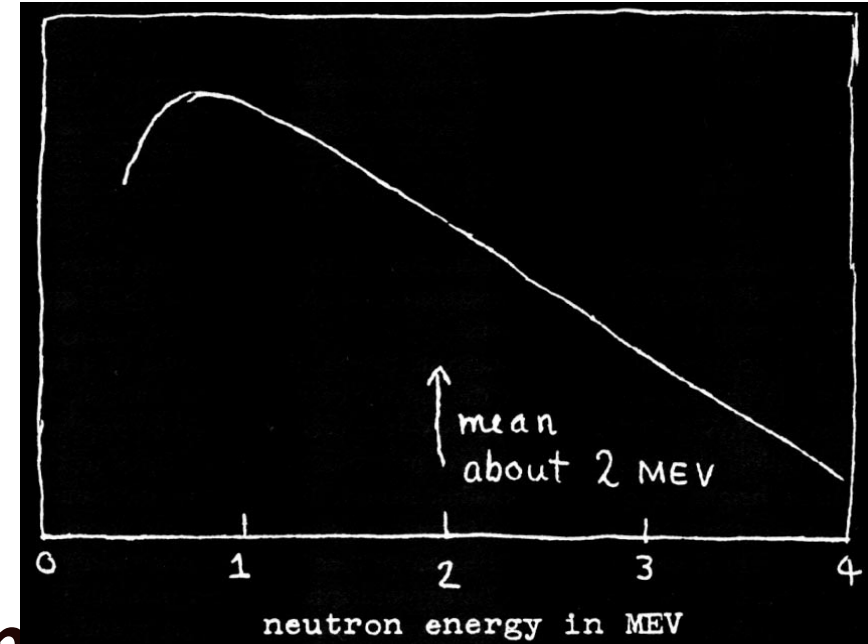


neutroni veloci e neutroni termici

- ◆ i neutroni emessi nella fissione sono “veloci”
 - ▷ energia media 2 MeV
 - ▷ velocità media 20 000 km/s
 - ▷ sigma-fissione 2,0 sigma-cattura 0,5
- ◆ neutroni “termici” hanno l’energia cinetica della temperatura ambiente
 - ▷ energia media 0,025 eV
 - ▷ velocità media < 2 km/s
 - ▷ sigma-fissione 579 sigma-cattura 100

“termalizzare” i neutroni

- ◆ diffondere i neutroni da nuclei leggeri: idrogeno, carbonio, deuterio ($D=H-2$)
- ◆ gli urti necessari: 18 con idrogeno, 31 con deuterio, 118 con carbonio
 $\approx 40 \mu s$ fra due interazioni successive con uranio
- ▷ inserire l'uranio in un moderatore:
 - acqua / acqua pesante (D_2O) / grafite
- ▷ richiede una struttura di molti metri cubi



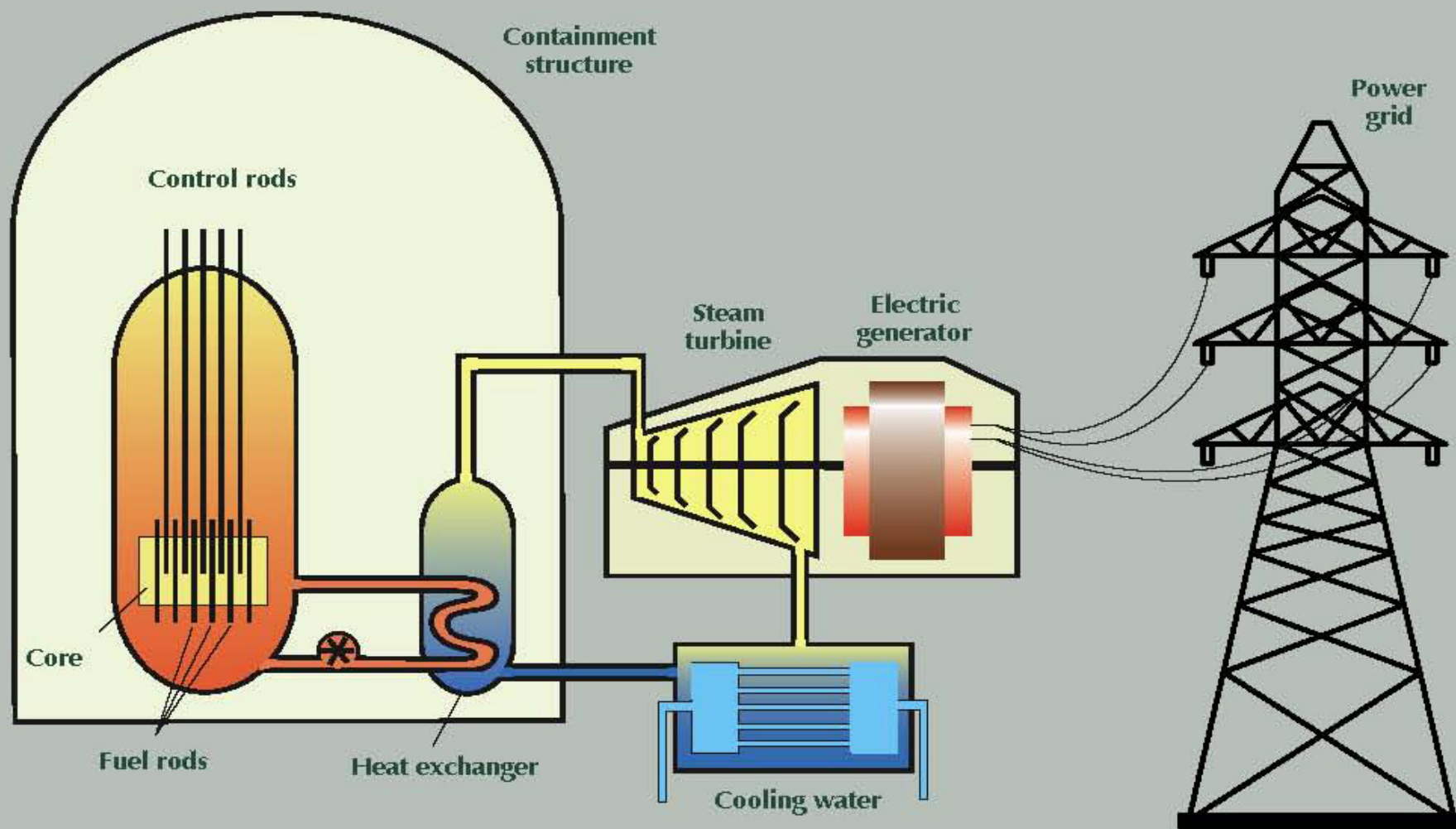
il fattore tempo e la bomba

- ◆ **un neutrone impiega tipicamente $0,01 \mu\text{s}$ a interagire con un nucleo**
 - ◆ **dopo 40 generazioni ($0,4 \mu\text{s}$) l'energia prodotta diventa enorme e il materiale si riscalda a $\approx 40 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{C}$ trasformandosi in plasma che si disperde a $\approx 10^6 \text{ m/s}$**
 - ◆ **un'espansione di pochi centimetri basta a diminuire la densità sotto il limite critico e a spegnere la reazione a catena**
- $\Rightarrow$ la catena deve completarsi entro $\approx 0,5 \mu\text{s}$**
- ◆ **per termalizzare i neutroni servono $40 \mu\text{s}$ fra due interazioni successive con uranio**
- $\Rightarrow$ non c'è tempo per termalizzare i neutroni**

le due strade

- ◆ **neutroni termici con moderatore**
 - ▷ alta probabilità ed efficienza
 - ▷ ossido d'uranio poco arricchito
 - ▷ reazione lenta e controllata
 - ▷ grandi dimensioni
 - ⇒ **reattore**
- ◆ **neutroni veloci senza moderatore**
 - ▷ bassa probabilità ed efficienza
 - ▷ uranio-235 o plutonio quasi puri
 - ▷ reazione veloce libera
 - ▷ dimensioni compatte
 - ⇒ **bomba**





impianto elettronucleare

arricchimento dell'uranio – “estrazione” dell'isotopo uranio-235 dall'uranio naturale

una difficilissima sfida tecnologica

- ◆ **non esistono processi chimici**
- ◆ **si deve giocare su una minima differenza di massa: solo 3 parti su 238**
- ◆ **occorre trattare l'uranio atomo per atomo:
produzione di esafluoruro UF_6
un gas dalle orribili proprietà**

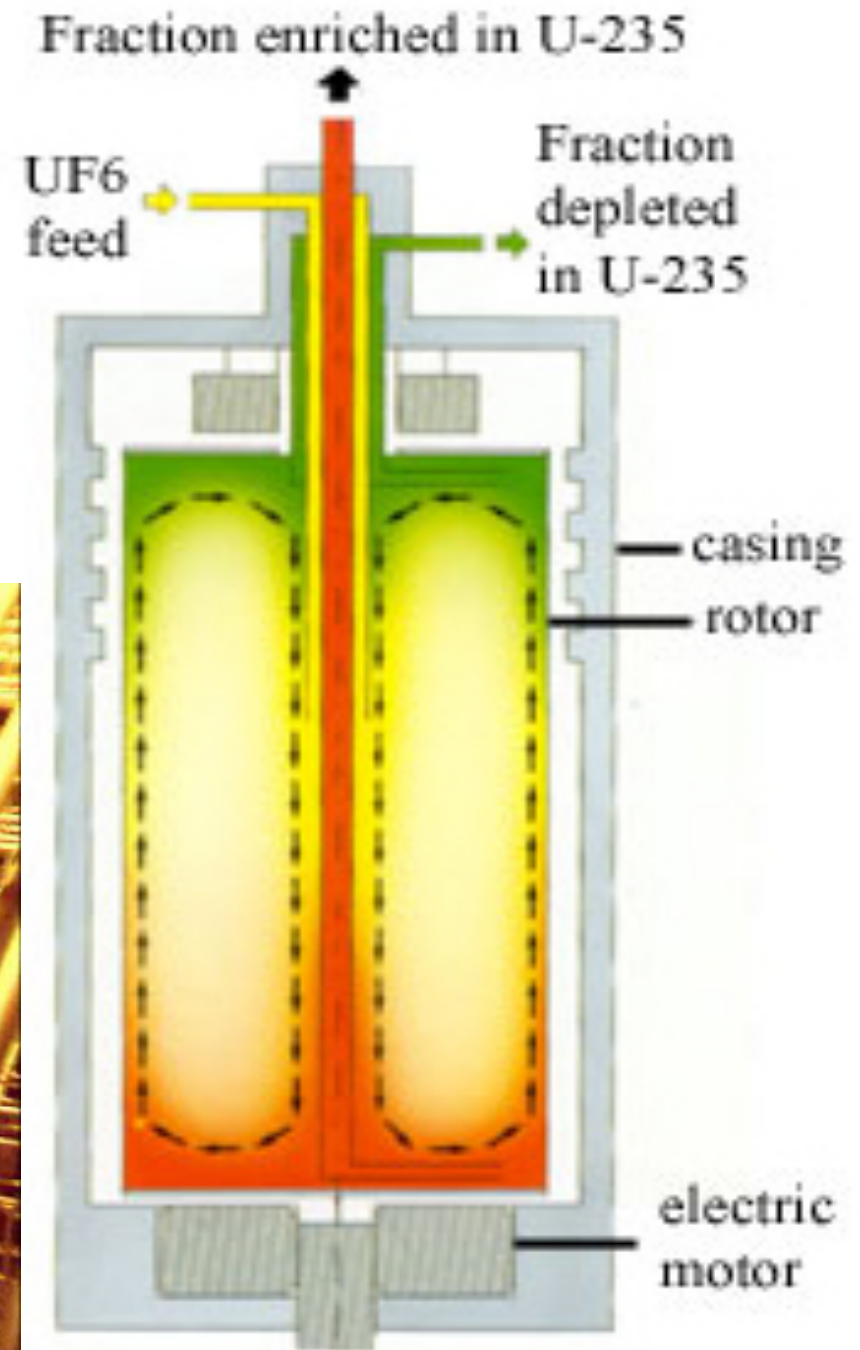
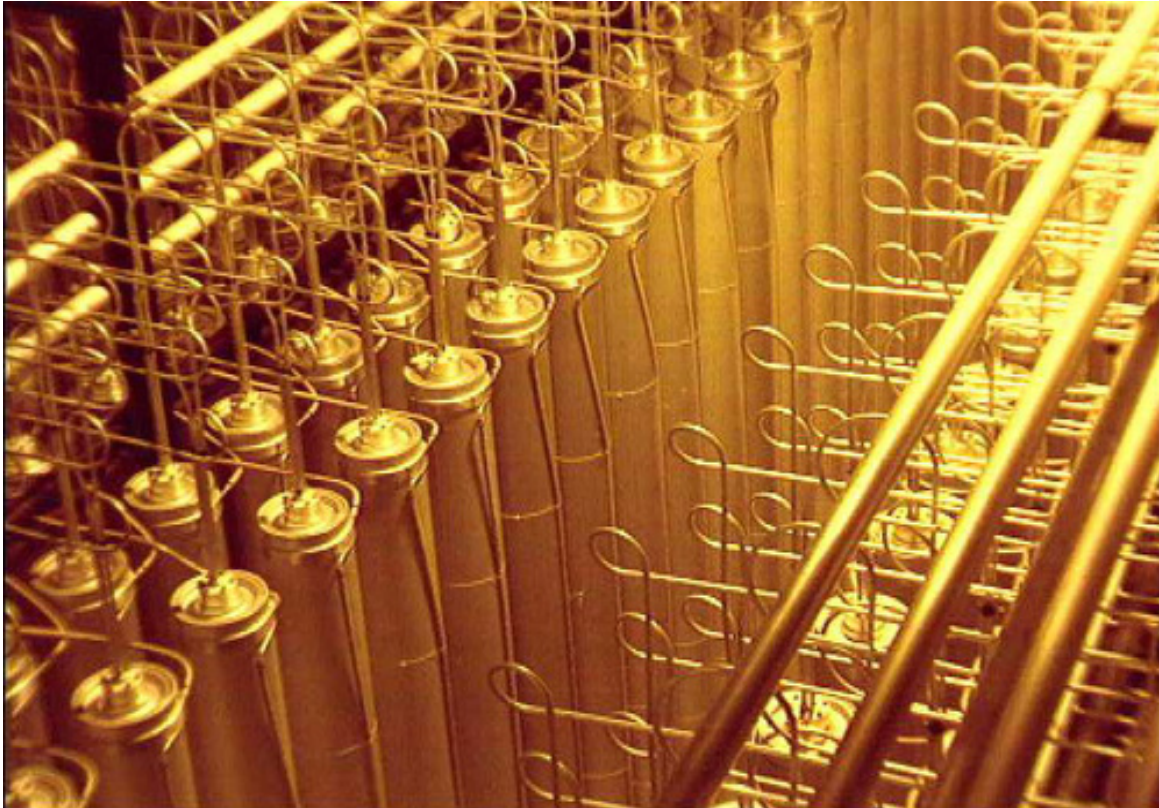


servono grandi impianti ed enormi quantità di energia

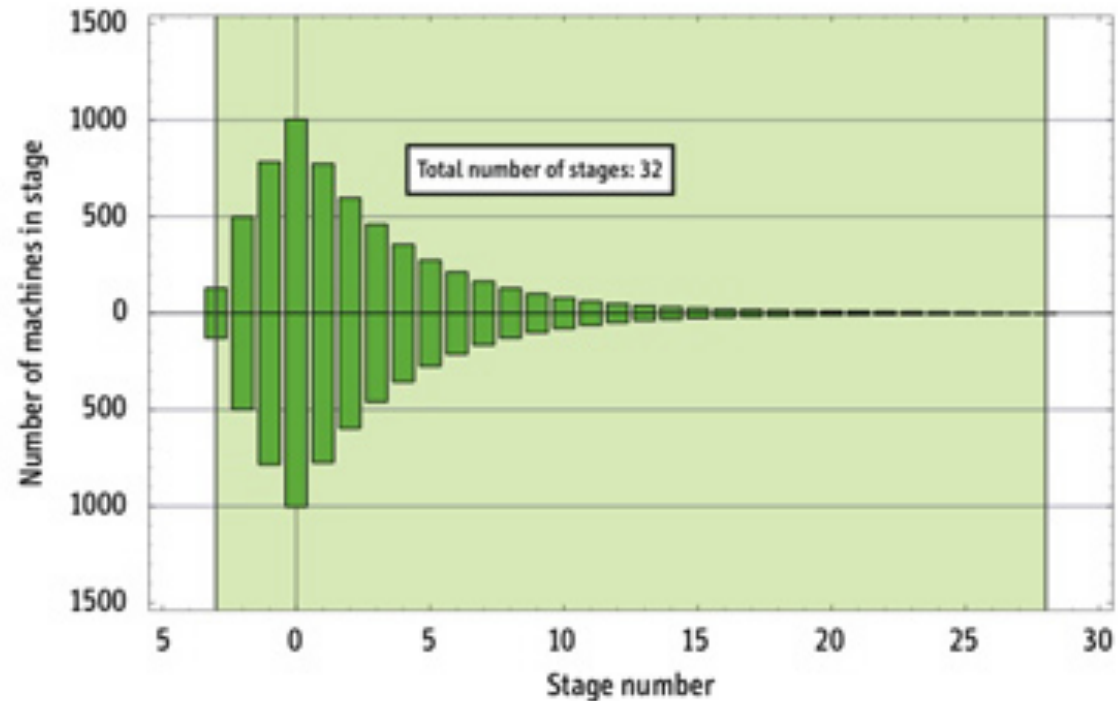
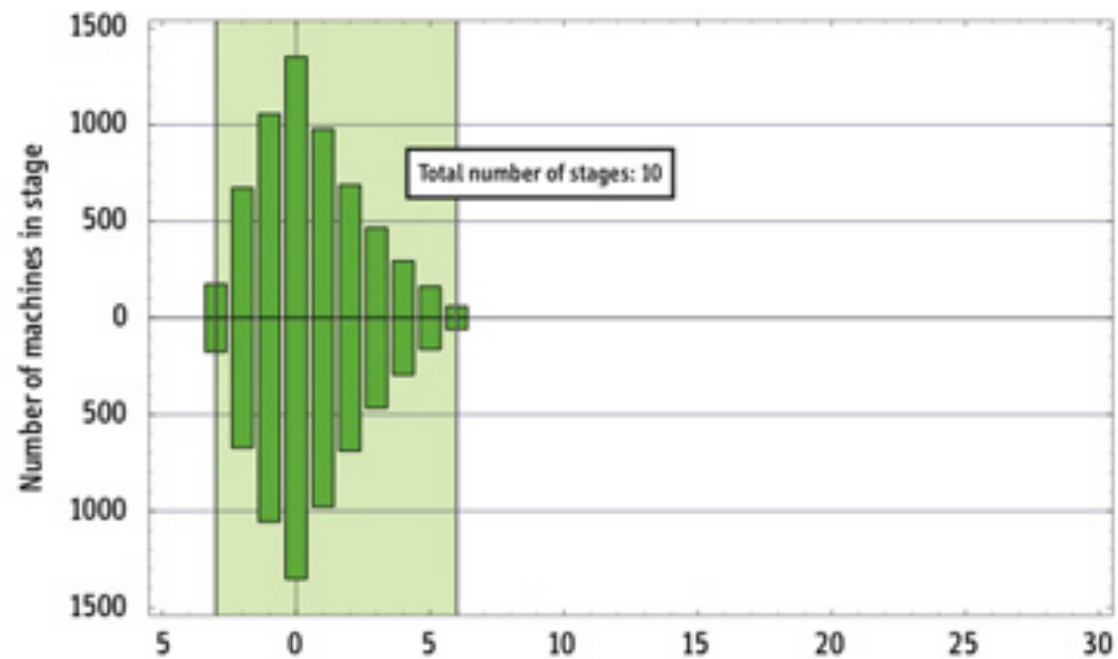


Tricastin – richiedeva 4 reattori nucleari per 3GW

**ultracentrifughe per
floururo di uranio:
lunghe da 3 a 12 m,
compiono fra 50 e 70 mila
rotazioni al minuto**



lo stesso impianto di arricchimento può produrre combustibile per reattori (basso arricchimento) o materiale per armi (alto arricchimento) riorganizzando gli stadi di operazione

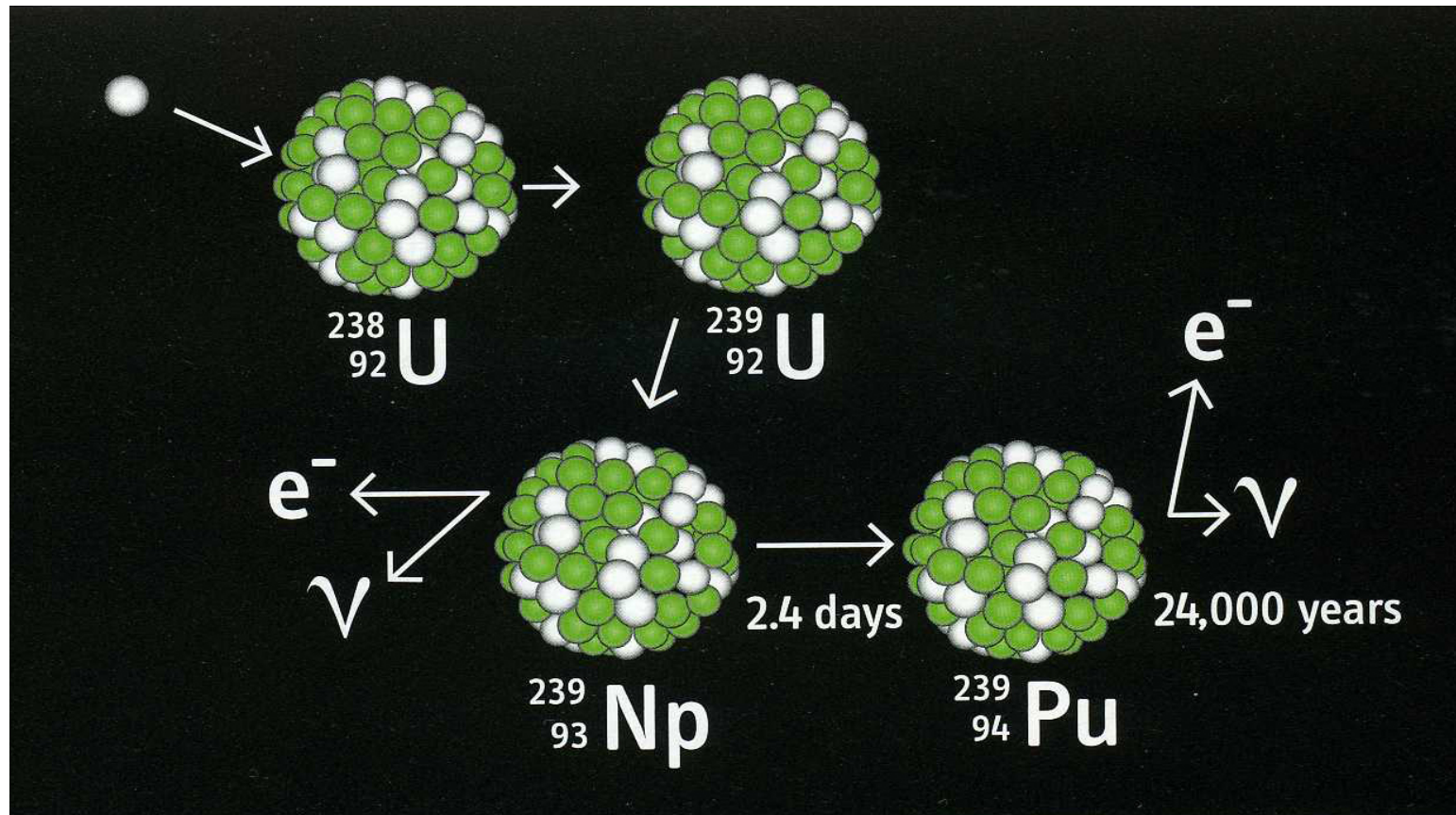


lavoro necessario per produrre materiale per reattori o per armi

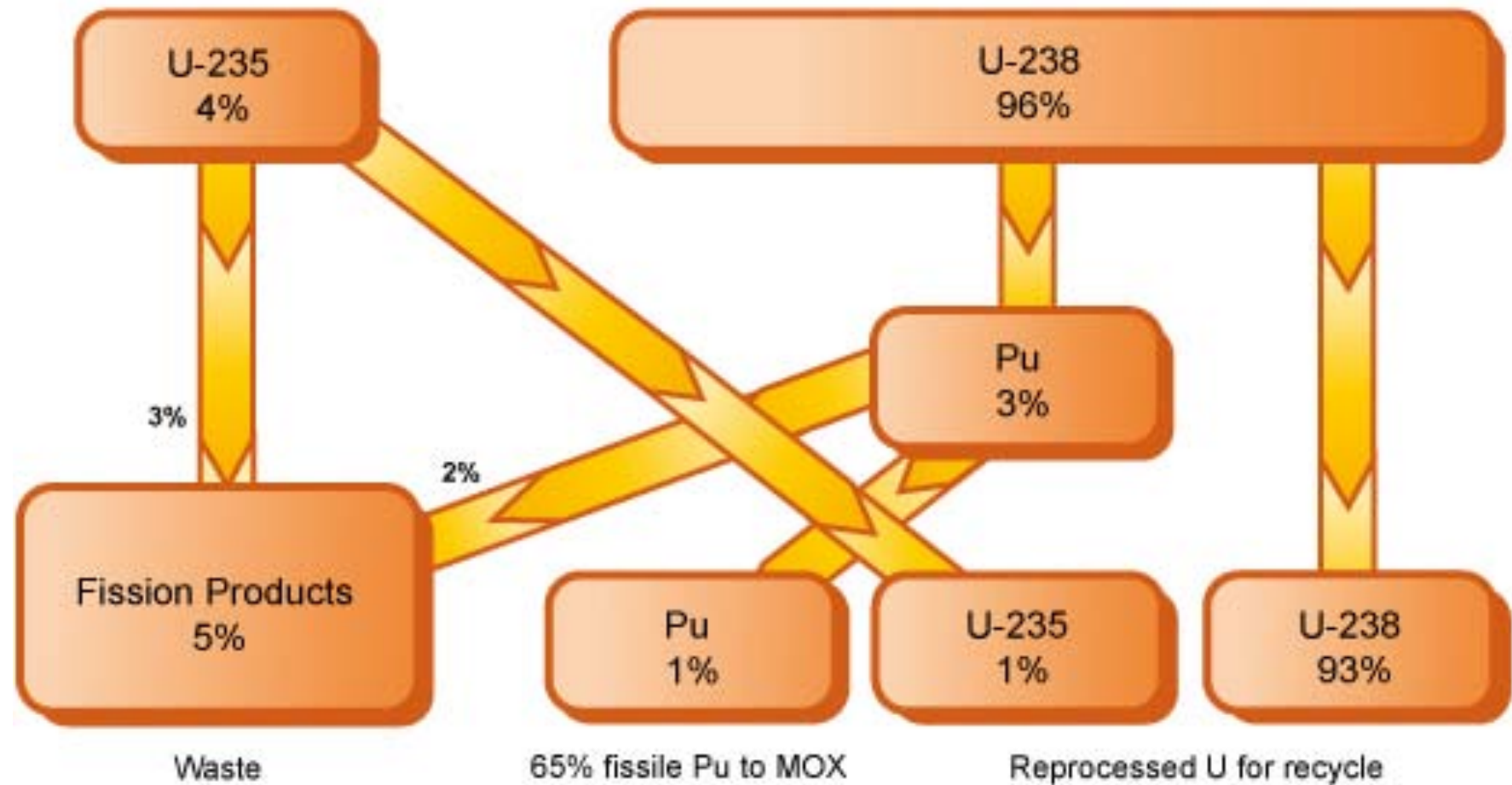
Material and separative work required to fuel a 1000 MWe light-water reactor					
Feed		Product		Separative Work	Time
150,000 kg	U(nat) at 0.71%	20,000 kg	LEU at 4% (Tails at 0.20%)	129,800 SWU	1 year
Material and separative work required to produce enough HEU for four bombs per year					
Feed		Product		Separative Work	Time
150,000 kg	U(nat) at 0.71%	820 kg	HEU at 93% (Tails at 0.20%)	192,300 SWU	
150,000 kg	U(nat) at 0.71%	100 kg	HEU at 93% (Tails at 0.65%)	14,200 SWU	40 days
20,000 kg	LEU at 4%	100 kg	HEU at 93% (Tails at 3.55%)	2,800 SWU	8 days

la via del plutonio

Il plutonio non esiste in natura: viene prodotto nei reattori nucleari dall'uranio-238 e rimane nelle scorie della fissione. il plutonio risulta molto più fissile dell'uranio-235, ed è "stabile". Il plutonio costituisce un'alternativa all'arricchimento dell'uranio



Reaction in Standard UO_2 Fuel

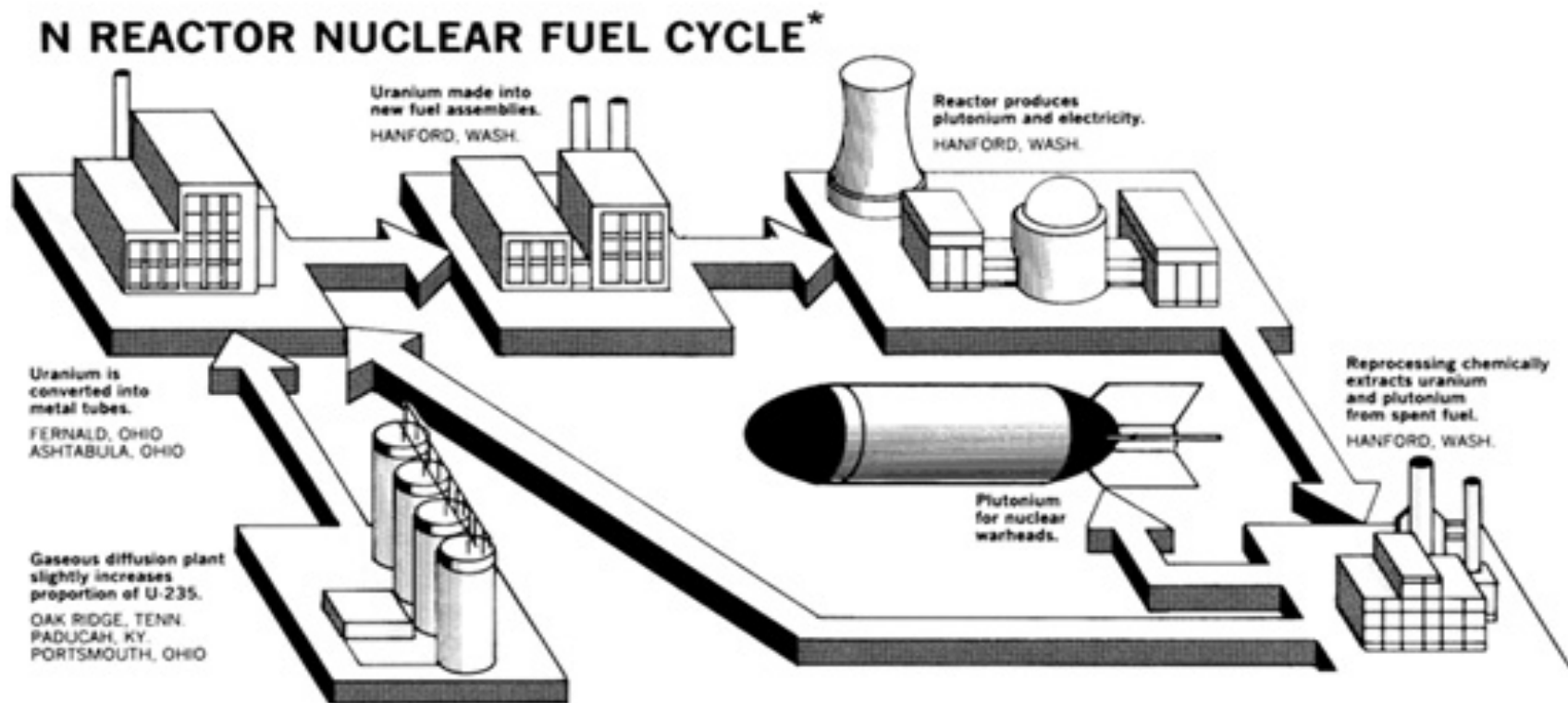


Basis: 45,000 MWd/t burn-up, ignores minor actinides

reazioni in reattore moderato ad acqua

la via del plutonio

Il plutonio è chimicamente differente dagli altri residui e può venir separato con processi chimici molto efficienti, anche se con speciali cautele per l'alta radioattività



*The N Reactor fuel cycle at Hanford has been shut down, but some facilities continue to operate.

la via del plutonio
gli impianti per la separazione del plutonio sono
enormi e impiegano grandi quantità di energia

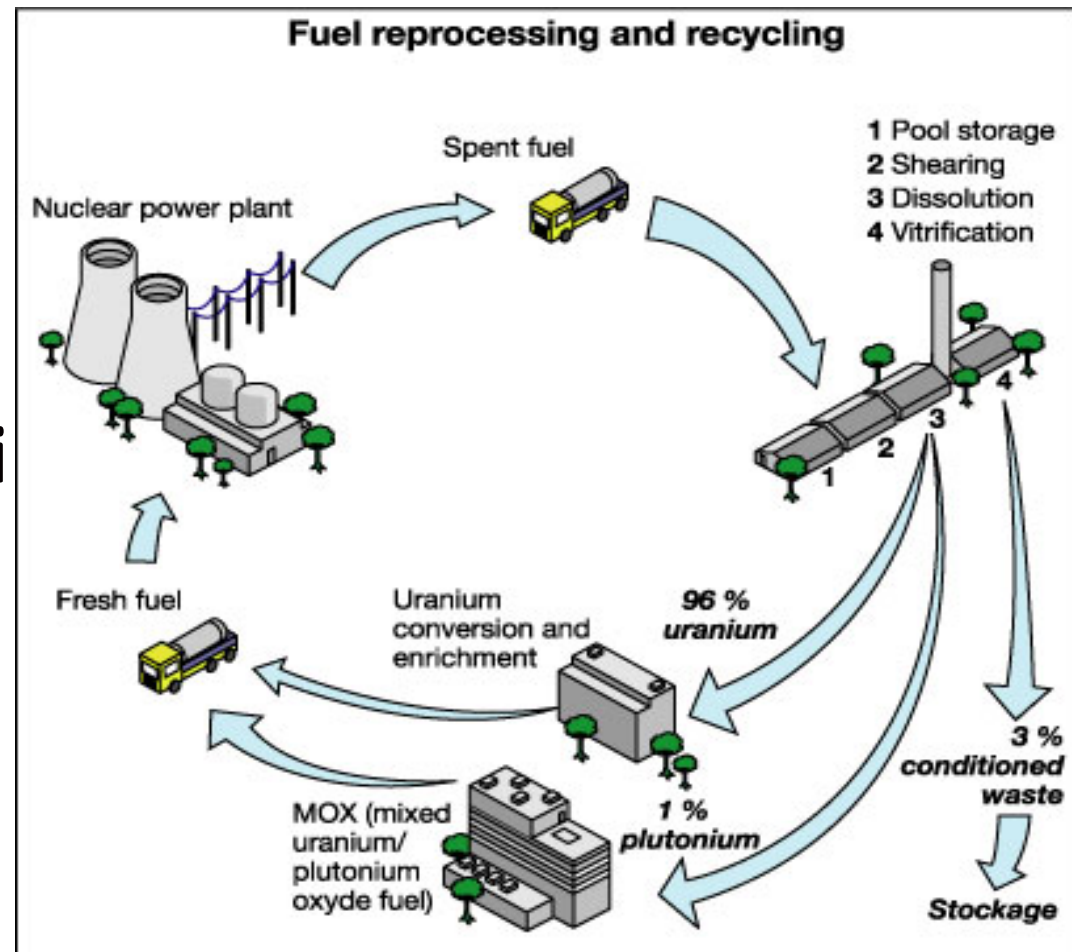


plutonio per impieghi civili

plutonio estratto dalle scorie dei reattori può venir
mescolato con uranio per produrre nuovo combustibile
per reattori: mixed oxyde (MOX)

- si stanno creando enormi
scorte di plutonio in vari
paesi

fonte d'energia per satelliti
artificiali



criteri per le forze nucleari

- ◆ **sopravvivibili**

non devono venir facilmente o rapidamente distrutte da un attacco nemico

- ◆ **flessibili**

devono poter rispondere a un'ampia varietà di azioni nemiche

- ◆ **efficaci militarmente**

devono poter raggiungere obiettivi nemici importanti e distruggerli in modo certo

- ◆ **abbordabili**

non devono portare lo stato alla bancarotta

- ◆ **selettive**

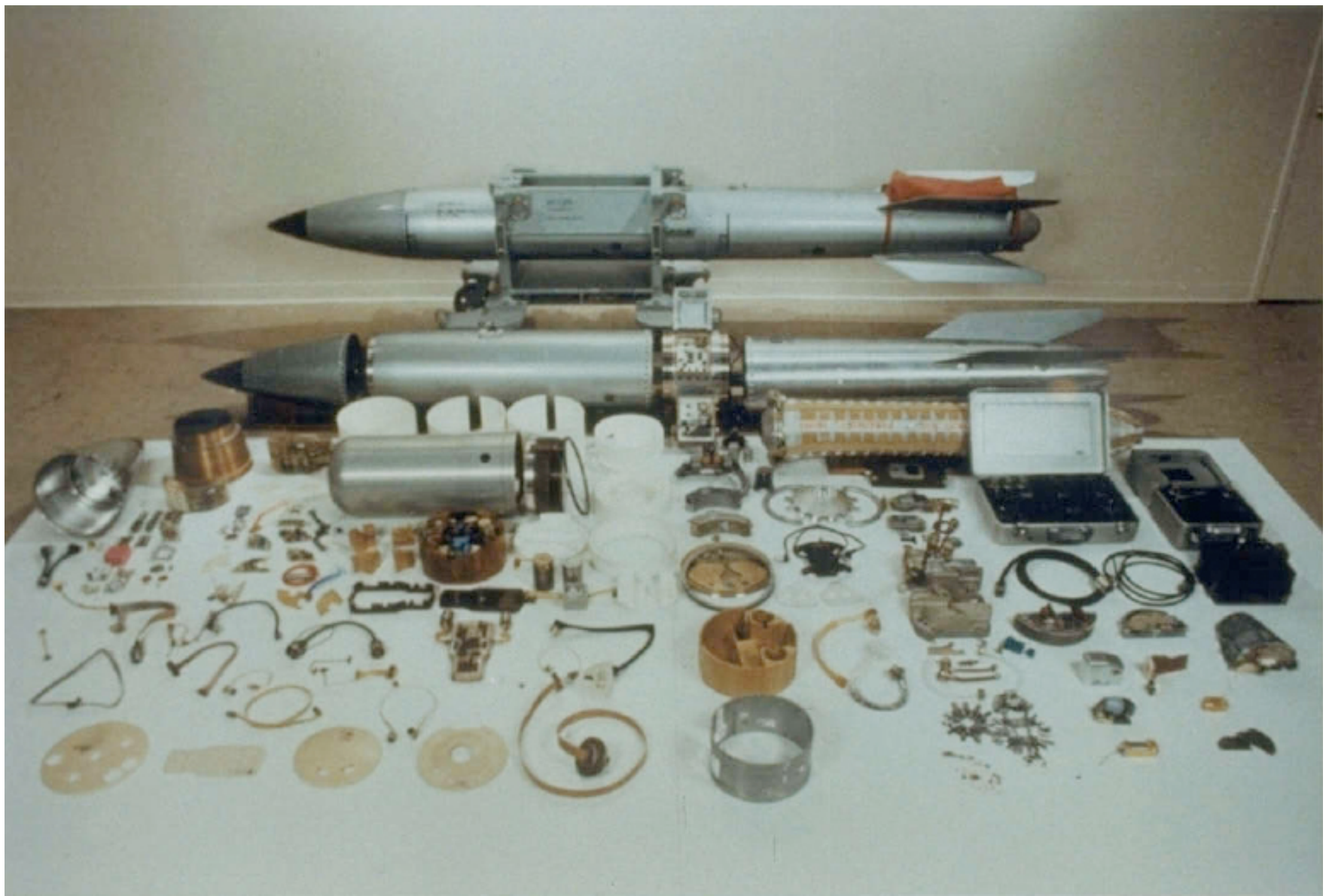
in grado di discriminare fra obiettivi militari e civili

- ◆ **sicure, affidabili e inviolabili**

condizioni operative: sicurezza, inviolabilità e affidabilità

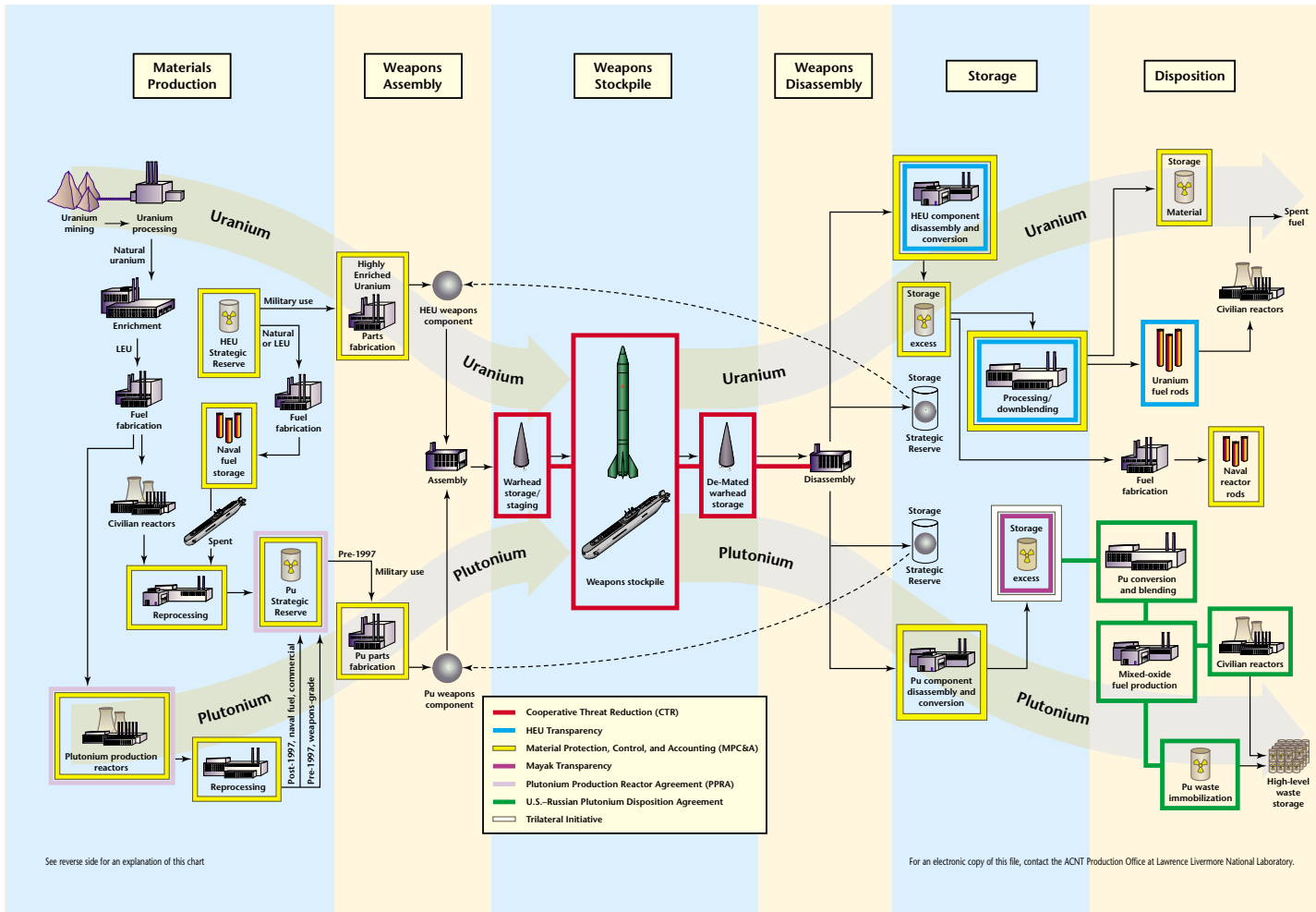
- ◆ **sicurezza (*safety*)** una testata sicura è innocua in tutte le situazioni diverse dalla deliberata detonazione
- ◆ **affidabilità (*security*)** una testata affidabile agisce nel modo prescritto quando viene detonata
- ◆ **inviolabilità (*reliability*)** una testata nucleare anche se catturata da un gruppo esperto non può mai produrre in alcun modo un'esplosione nucleare

Il criterio attuale americano di sicurezza richiede che la probabilità di una detonazione non voluta di un'arma nucleare sia inferiore, per anno e per arma, a un milionesimo in condizioni normali e a un milionesimo in caso di incidenti.



un arma nucleare è un apparato molto complesso

la produzione di un'arma a fissione richiede materiali speciali e competenze in un varietà di tecnologie, molte di interesse civile, e l'esecuzione di un programma articolato in circa 200 fasi



pericoli di terrorismo nucleare

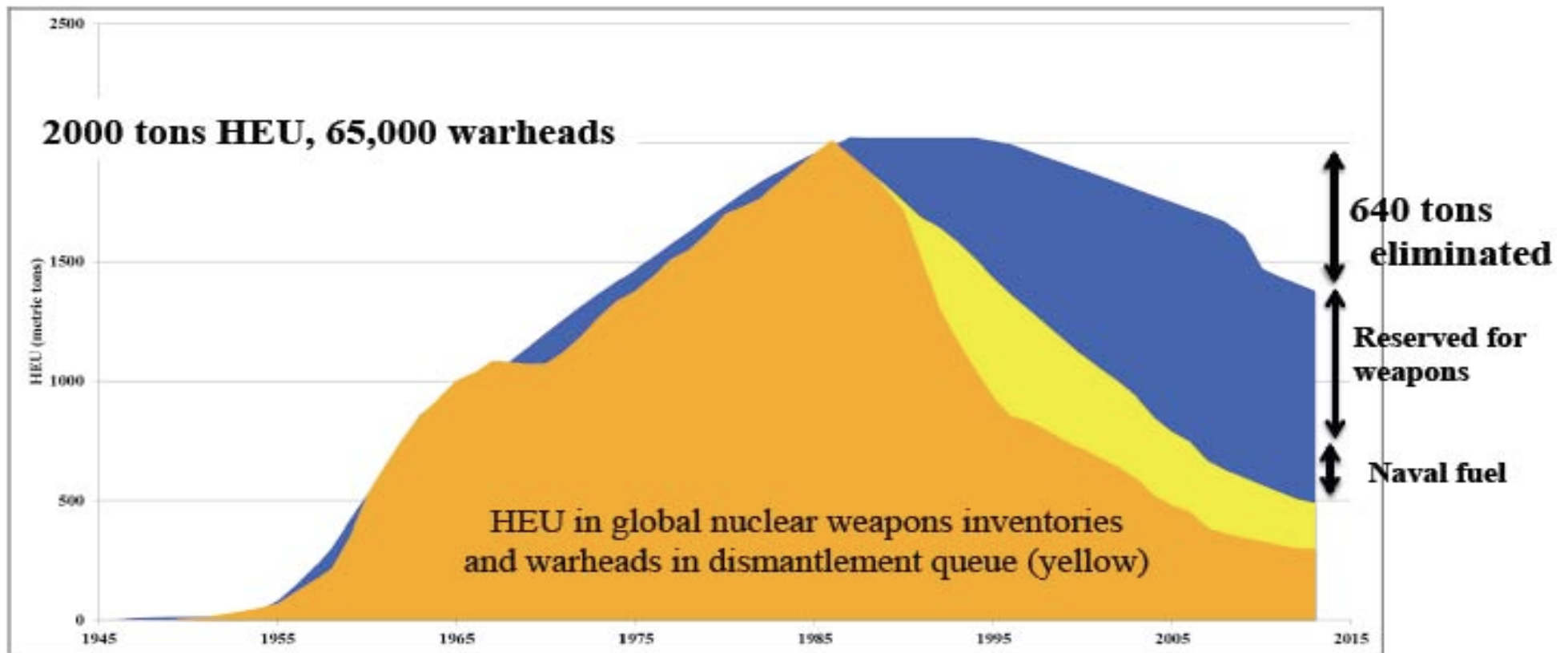
- la comparsa di una nuova forma di terrorismo, che mira a infliggere i massimi danni possibili, e non si sente soggetto a inibizioni dovute al timore che attacchi massicci possano creare rigetto e vanificare gli stessi obiettivi politici**
- la vasta diffusione di informazioni sulla tecnologia delle armi nucleari, vecchia ormai di oltre mezzo secolo**
- la crescente quantità e dispersione di materiali utilizzabili per una bomba**
- la globalizzazione, che rende più facile la mobilità di persone, tecnologie e materiali in tutto il mondo**

Il rischio maggiore è che un piccolo gruppo di terroristi acquisisca il necessario esplosivo nucleare (un centinaio di kilogrammi di HEU) e possa far detonare un ordigno nucleare rudimentale con la potenza della bomba di Hiroshima.

La messa in sicurezza del materiale nucleare ha quindi la massima priorità, come si è convenuto nel *Nuclear Security Summit* del 2010.

La Russia ha unilateralmente interrotto la collaborazione USA-Russia in questo campo

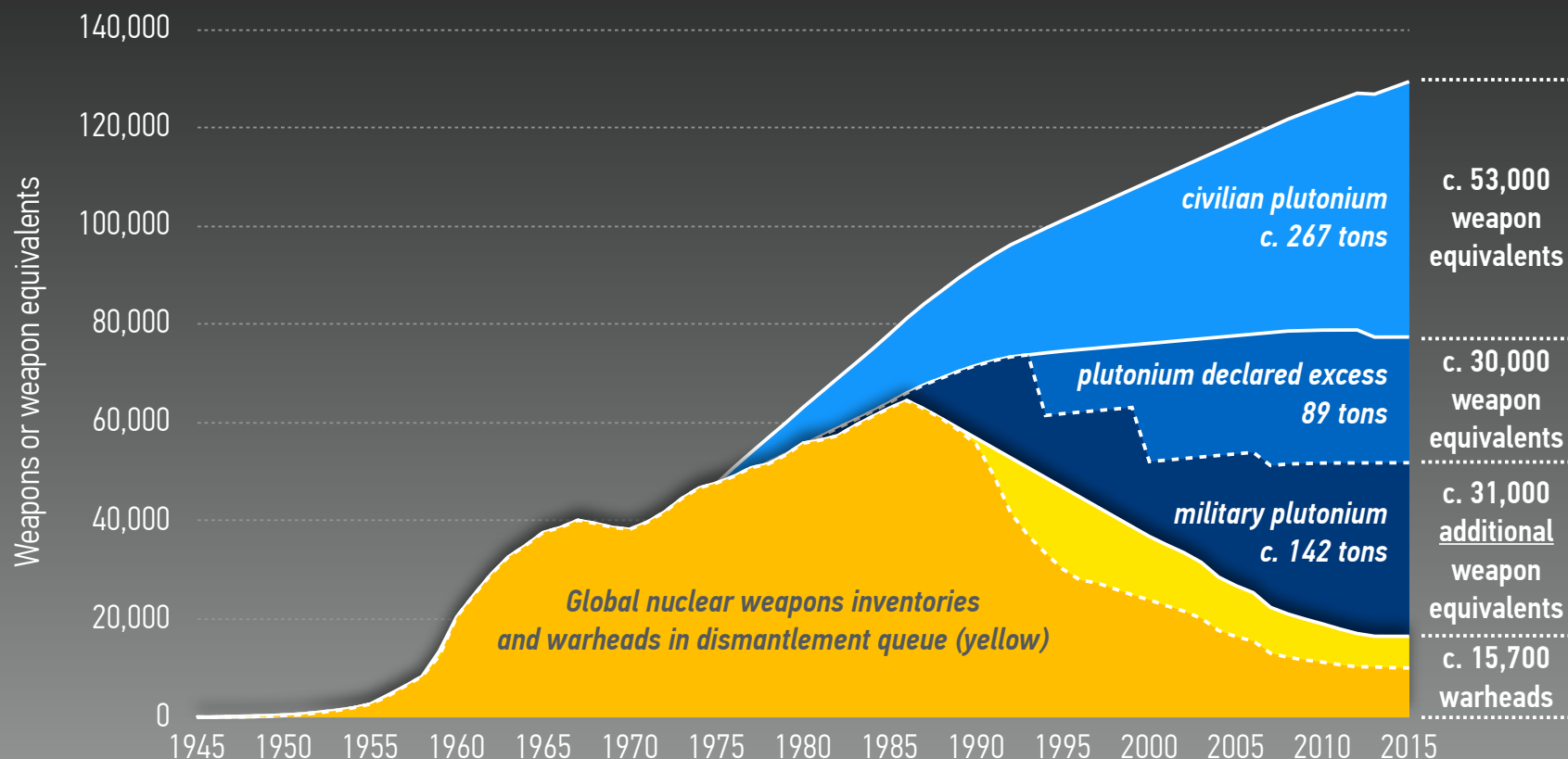
produzione ed eliminazione di uranio altamente arricchito



NUCLEAR WEAPONS AND FISSILE MATERIALS

GLOBAL INVENTORIES, 1945–2015

THE CASE OF SEPARATED PLUTONIUM



"Status of World Nuclear Forces," *Federation of American Scientists*, fas.org, April 2015

Fissile material estimates and weapon-equivalents are authors' estimates; assumes an average of 3 kg for weapon-grade and 5 kg for reactor-grade plutonium per weapon

il materiale fissile necessario per una bomba si misura in kilogrammi, mentre le scorte esistenti sono centinaia di tonnellate

Table 2. Approximate fissile material requirements for pure fission nuclear weapons

Yield (kt)	Weapon-grade plutonium (kg)			HEU (kg)		
	<i>Technical capability level</i>			<i>Technical capability level</i>		
	Low	Medium	High	Low	Medium	High
1	3	1.5	1	8	4	2.5
5	4	2.5	1.5	11	6	3.5
10	5	3	2	13	7	4
20	6	3.5	3	16	9	5

Source: Cochran and Paine (1995: 9).

per il disarmo nucleare

- 16 Marzo 1946 Report on the International Control of Atomic Energy (Baruch's plan) **bloccato dal veto russo**
- 19 giugno 1946 Convenzione di disarmo generale proposta da Gromiko alla UNAEC **bloccata dal veto americano**
- 18 aprile 1962 proposta Kennedy Ginefra basata sull'accordo McCloy-Zorin **non accolta da Crusciov**
- 1 luglio 1968 Non Proliferation Treaty **in vigore**
- 15 gennaio 1986 proposta di Gorbaciov **non accolta da Reagan**
- 8 dicembre 1986 Intermediate-range Nuclear Forces treaty (INF) bilaterale URSS-USA **in vigore fino al 2 agosto 2019**
- 1989 il Sud Africa elimina autonomamente le proprie armi nucleari prodotte segretamente **in corso**

cause della fine dell'INF

- l'approccio dei due leader, con l'odio di Trump per ogni trattato e l'insofferenza di Putin per limitazioni all'espansionismo russo
- il deterioramento dei rapporti fra la Russia e i paesi occidentali
- l'assenza di pressione dell'opinione pubblica e dei governi europei
- ◆ pretesti:
 - ▷ violazioni del trattato
 - ▷ le armi IRM cinesi



problemi del trattato di non proliferazione (NPT)

- **non è universale: mancano India, Israele, Pakistan e Corea del Nord, con armi nucleari e Sud Sudan e Taiwan**
- **fallimento delle conferenze di revisione del 2005 e 2015: insuccesso largamente dovuto all'indisponibilità delle potenze con armi nucleari a impegnarsi sulla via del disarmo, come previsto dall'articolo 6 del trattato**
- **non rispetto degli impegni definiti nel 1995, 2000 e 2010**
- **resistenze dei paesi non nucleari ad aderire a forme di controllo più incisive sulle loro attività**
- **tensioni crescenti fra sostenitori e contrari al bando delle armi nucleari del 2017**
- **tensioni crescenti fra USA e Russia e USA e Cina**
- **a rischio la conferenza di revisione del 2020**

problema urgente del NPT (e non solo del NPT) il programma nucleare dell'Iran

Sviluppi segreti di arricchimento dell'uranio e di separazione del plutonio furono condotti dall'Iran dal 1989 al fine al 2003, quando gli impianti, realizzati con il supporto di Khan, furono denunciati da oppositori del regime.

Nel 2015 raggiunto l'accordo E3/EU+3–Iran per limitazioni del programma (*Joint Comprehensive Plan of Action – JCPOA*) con stretti controlli della IAEA.

Nel 2017 Trump si ritira dal JCPOA e introduce sanzioni economiche sull'Iran e anche su chi mantiene rapporti economici con l'Iran.

A maggio 2019 Trump sposta una flotta e forze aeree nell'area.



controllo degli armamenti nucleari

- **limitazioni geografiche**

- ▷ **1959 Antarctic Treaty in vigore**
- ▷ **1967 Outer Space Treaty in vigore**
- ▷ **1971 Seabed Treaty in vigore**
- ▷ **1967 zona denuclearizzata America Latina e Caraibi in vigore**
- ▷ **1985 zona denuclearizzata Sud Pacifico in vigore**
- ▷ **1995 zona denuclearizzata Sud-est Asia in vigore**
- ▷ **1996 zona denuclearizzata Africa in vigore**
- ▷ **2006 zona denuclearizzata Asia Centrale in vigore**

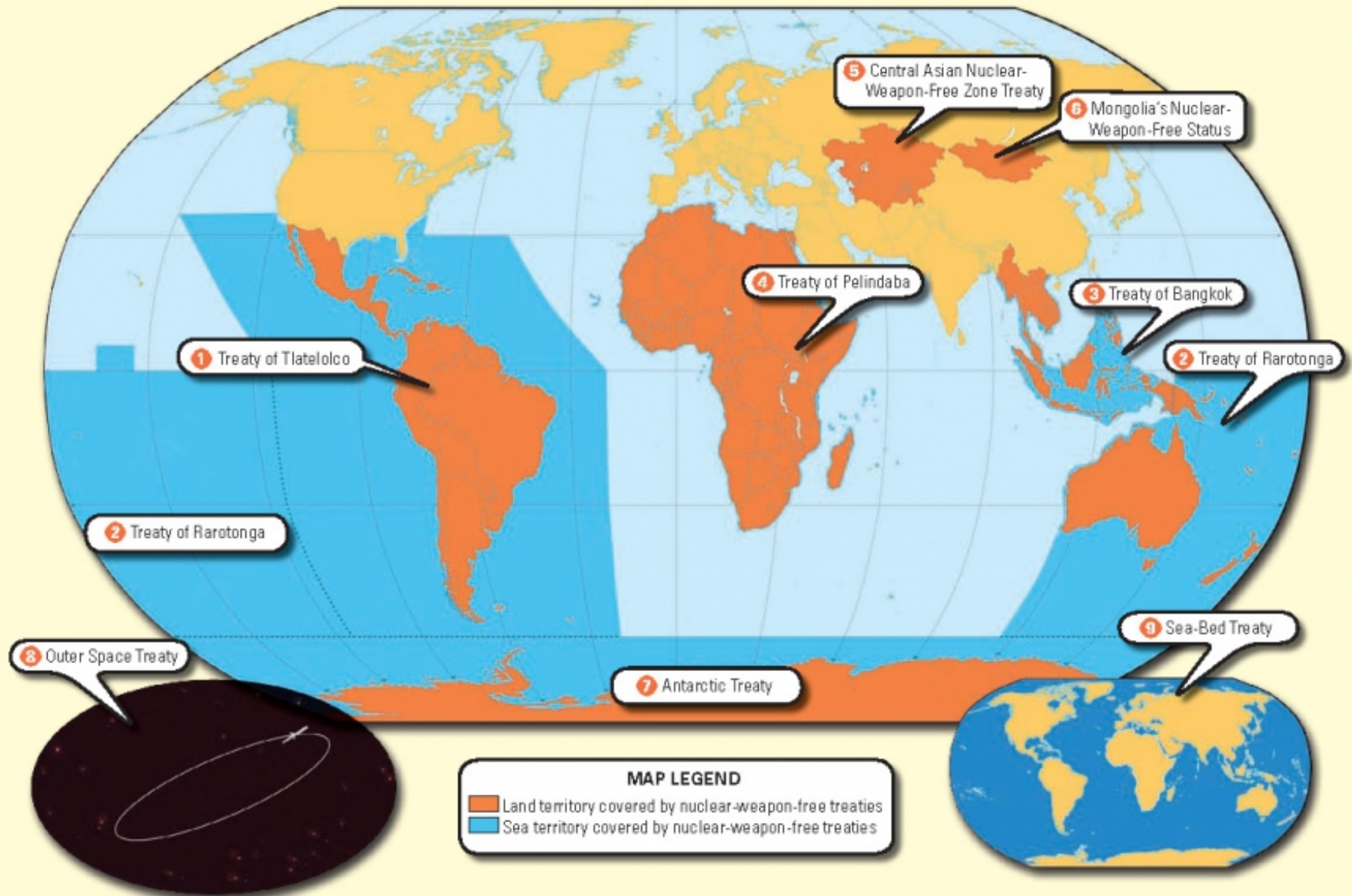
- **limitazioni allo sviluppo**

- ▷ **1963 bando parziale delle esplosioni in vigore**
- ▷ **1996 bando totale dei test nucleari non in vigore**
- ▷ **proibizione della produzione di materiale fissile discussione alla Conferenza del Disarmo bloccata dal veto pakistano**



NUCLEAR-WEAPON-FREE AREAS

Demarcation of nuclear-weapon-free zones, nuclear-weapon-free status and nuclear-weapon-free geographical regions



fallimento del progetto di una zona denuclearizzata in Medio Oriente

**una condizione richiesta dai paesi arabi nel 1995 per accettare
l'estensione indefinita del trattato NPT e ribadita con
determinazione nelle conferenze del 2000 e 2010**

**non si è riusciti, per l'irrigidimento di Egitto e Israele, a far partire
la conferenza preparatoria di una zona priva di armi di
distruzione di massa in Medio oriente prevista entro il 2015**

**l'ONU ha lanciato una nuova conferenza preparatoria entro il
2019. Israele e USA sono indisponibili**

Resta uno dei principali problemi del NPT

limitazioni degli armamenti nucleari

accordi bilaterali USA–URSS (Russia)

- **1972 Strategic Arms Limitation Talks – SALT I superato**
- **1972 Trattato Anti Ballistic Missile cancellato da Bush (2002)**
- **1991 Strategic Arms Reduction Treaty – START cessato 2009**
- **1996 Further Reduction and Limitation of Strategic Offensive Arms – START II non ratificato dalla Russia a seguito della cessazione del trattato ABM**
- **2002 Strategic Offensive Reductions Treaty – SORT superato**
- **2010 New START in vigore fino al 2021**

stallo nei negoziati per il disarmo nucleare

situazione di crisi del processo negoziale verso il disarmo o per forme di controllo degli armamenti nucleari.

A distanza ormai di 19 anni dalla sua firma, non è ancora entrato in vigore il trattato per il bando totale dei test nucleari (CTBT) per la mancata ratifica da parte di stati cruciali, fra cui gli stessi USA che lo avevano proposto

La Commissione per il disarmo di Ginevra dal 1994 sta discutendo un bando della produzione di materiale fissile e esplosivo (FMCT), ma il negoziato è tuttora bloccato dal veto del Pakistan.

blocco del processo New START

La presente crisi dei rapporti russo-americani sta anche bloccando ogni trattativa per il rafforzamento del trattato New START, come inizialmente previsto dagli accordi fra Dmitry Medvedev e Barak Obama alla firma del trattato l'8 aprile 2010. Trump ha mandato segnali che rendono difficile la semplice estensione del trattato per un nuovo termine dopo il 2021.



Stallo nei negoziati per il disarmo nucleare

situazione di crisi del processo negoziale verso il disarmo o per forme di controllo degli armamenti nucleari.

A distanza ormai di 19 anni dalla sua firma, non è ancora entrato in vigore il trattato per il bando totale dei test nucleari (CTBT) per la mancata ratifica da parte di stati cruciali, fra cui gli stessi USA che lo avevano proposto

La Commissione per il disarmo di Ginevra dal 1994 sta discutendo un bando della produzione di materiale fissile esplosivo (FMCT), ma il negoziato è tuttora bloccato dal veto del Pakistan.

scarsa attenzione dell'opinione pubblica

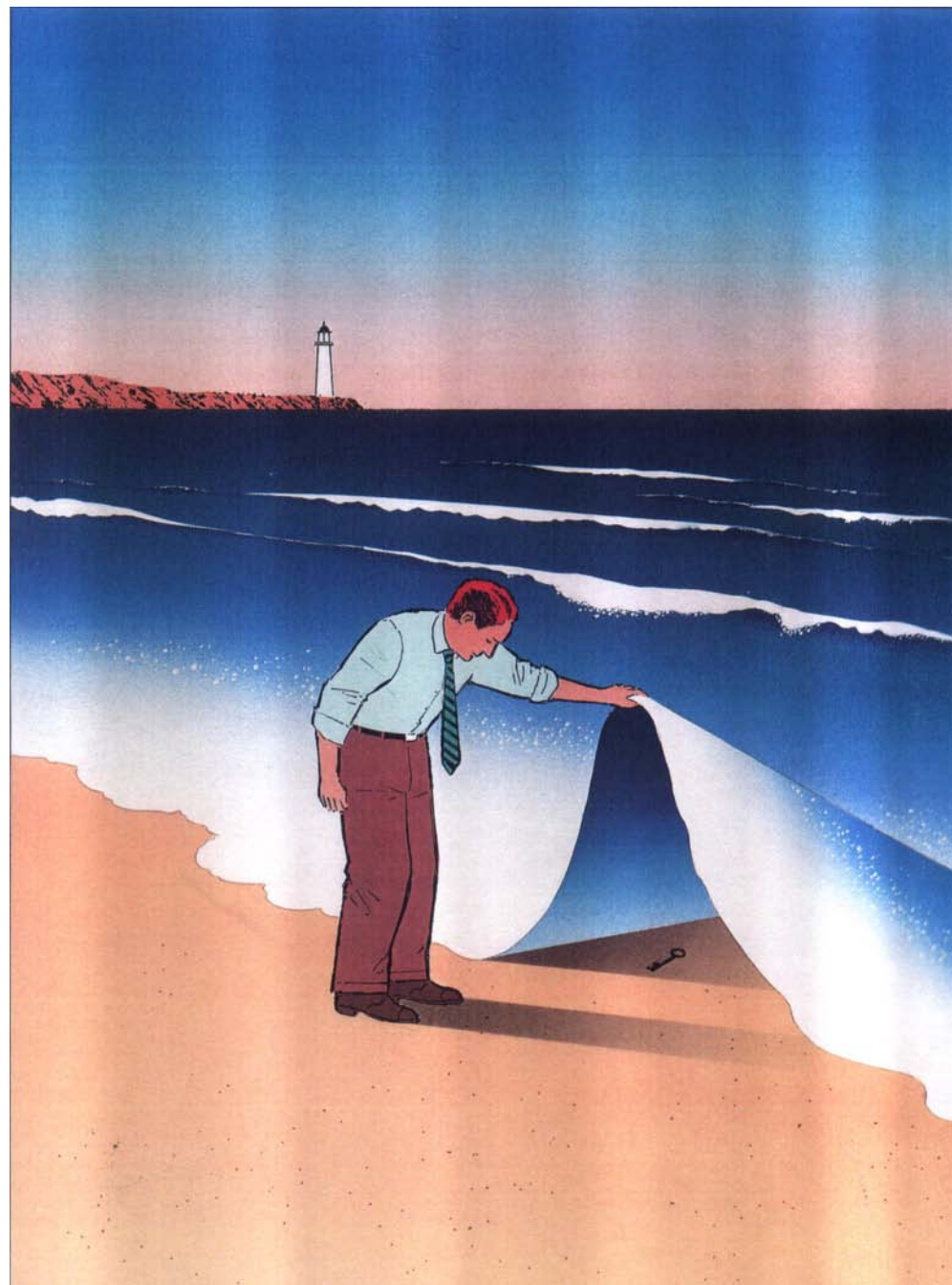
- **cruciale per il raggiungimento di limitazioni delle armi**
- **difficile sensibilizzare la popolazione al problema delle armi nucleari**
- **le ong pacifiste impegnate in lobbying più che alla sensibilizzazione del pubblico**



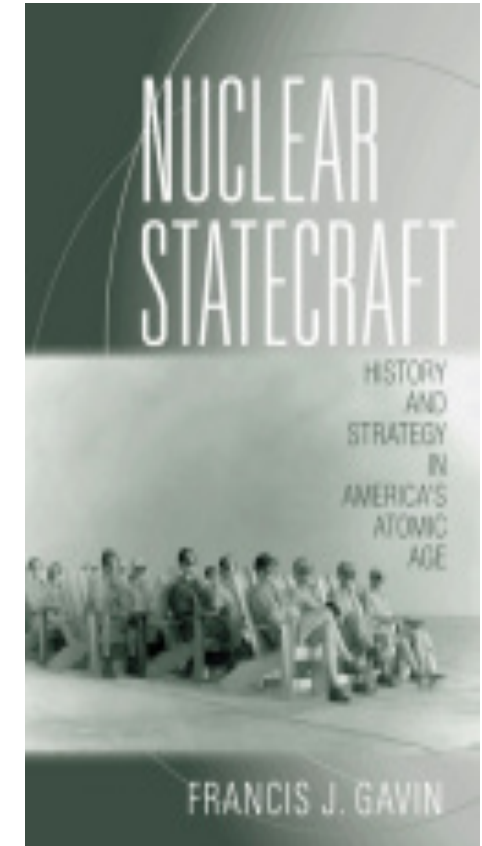
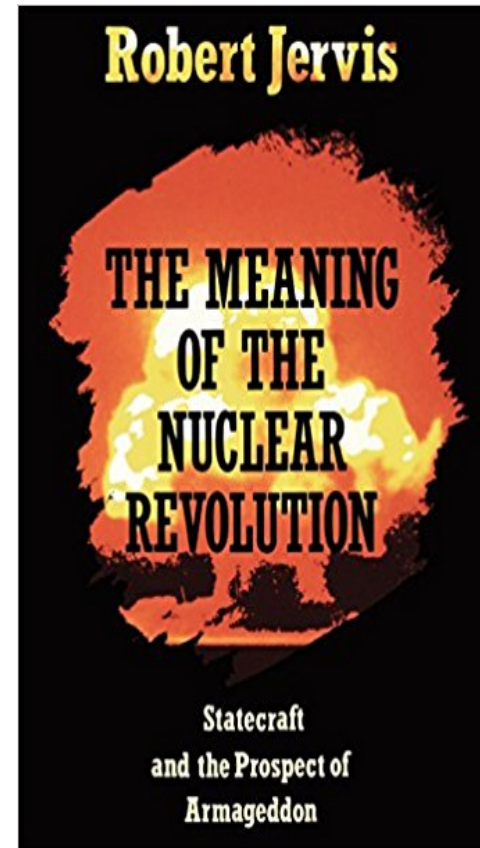
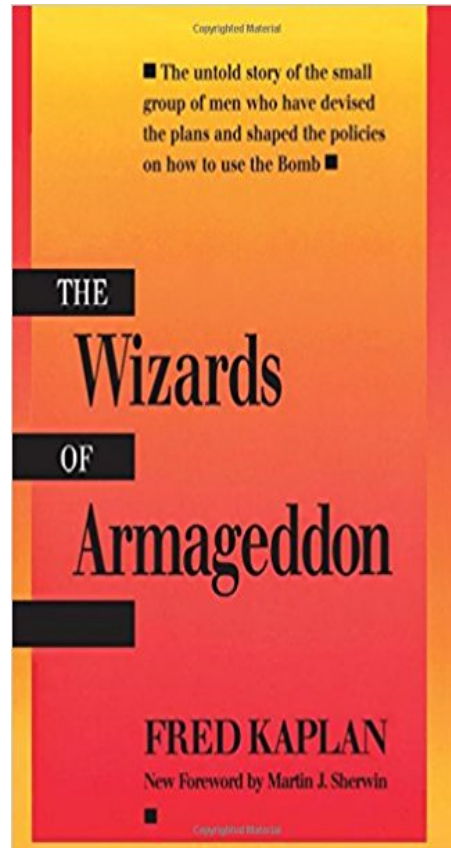
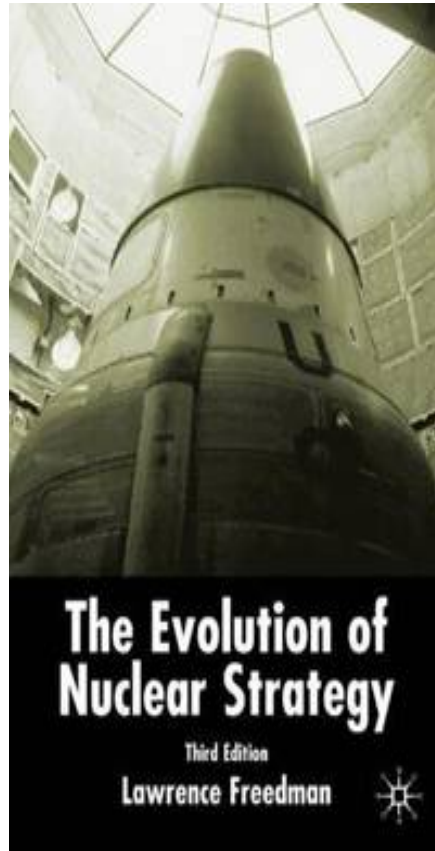
da qualche parte deve esserci la chiave per arrivare al superamento delle armi nucleari

la nostra generazione non è stata capace di trovarla

speriamo che voi abbiate abbastanza fantasia creativa per cercarla nel posto giusto



suggerimenti per approfondire



Alessandro Pascolini

pascolini@pd.infn.it
www.pd.infn.it/~pascolin
 **@pascolin**

