

# **armamenti e strategie nucleari**

## **ottobre 2018**

# **armamenti e strategie nucleari**

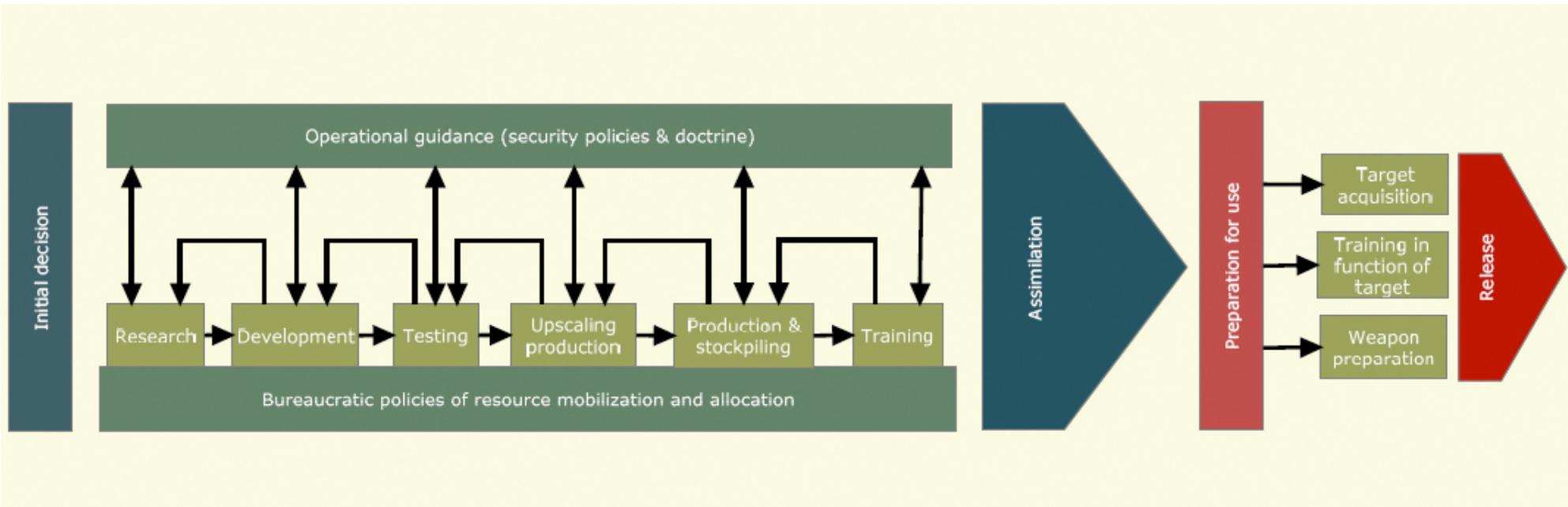
- 1. la proliferazione degli armamenti nucleari**
- 2. classificazione operativa delle armi nucleari  
impieghi di “teatro”, strategici e tattici**
- 3. evoluzione degli armamenti strategici  
e situazione attuale**
- 4. razionalizzazioni e teorie**
- 5. deterrenza nucleare  
estesa – ampliata – minima ...**
- 6. programmi di modernizzazione e rischi attuali**

# **lezioni da Hiroshima**

- 1. la produzione di armi nucleari è difficile e richiede:**
  - ▷ disponibilità di materie prime**
  - ▷ ricerche scientifiche coordinate**
  - ▷ sviluppi tecnologici**
  - ▷ struttura organizzativa**
  - ▷ finanziamenti pluriennali significativi**
- 2. le armi nucleari sono irresistibili**
- 3. la realizzazione di armi nucleari assicura un balzo nelle capacità scientifiche e tecnologiche**
- 4. il prestigio internazionale acquisito è enorme**

- 5. alla produzione di armi si accoppia lo sviluppo della tecnologia nucleare civile**
- 6. le armi nucleari possono essere risolutrici**
- 7. le armi nucleari possono venir usate solo in condizioni di superiorità**
- 8. dal punto di vista militare una sola arma nucleare è priva di significato**
- 9. le armi nucleari sono indispensabili per difendersi da una minaccia nucleare**
- 10. la produzione di armi nucleari permette di coinvolgere e controllare la comunità scientifica**
- 11. all'interno, il potere del settore politico-militare-scientifico aumenta**

**per diventare una potenza nucleare produrre qualche bomba non basta  
le armi devono venir “assimilate” nel quadro globale della politica di sicurezza e divenire parte integrale della dottrina militare operativa**



# 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**

## La proliferazione nucleare nel tempo

**un insieme  
significativo di  
paesi ha  
considerato  
seriamente  
l'acquisizione di  
armi nucleari**

| Paese            | esplorazione            | sviluppo             | Acquisizione |
|------------------|-------------------------|----------------------|--------------|
| USA              | 1939-                   | 1942-                | 1945-        |
| 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,<br>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,<br>1987-1988 |                      |              |
| Argentina        | 1978-1990               |                      |              |
| Romania          | 1978-1989               |                      |              |
| Algeria          | 1983-1991               |                      |              |

# **classificazione operativa degli armamenti nucleari**

## **◆ storica**

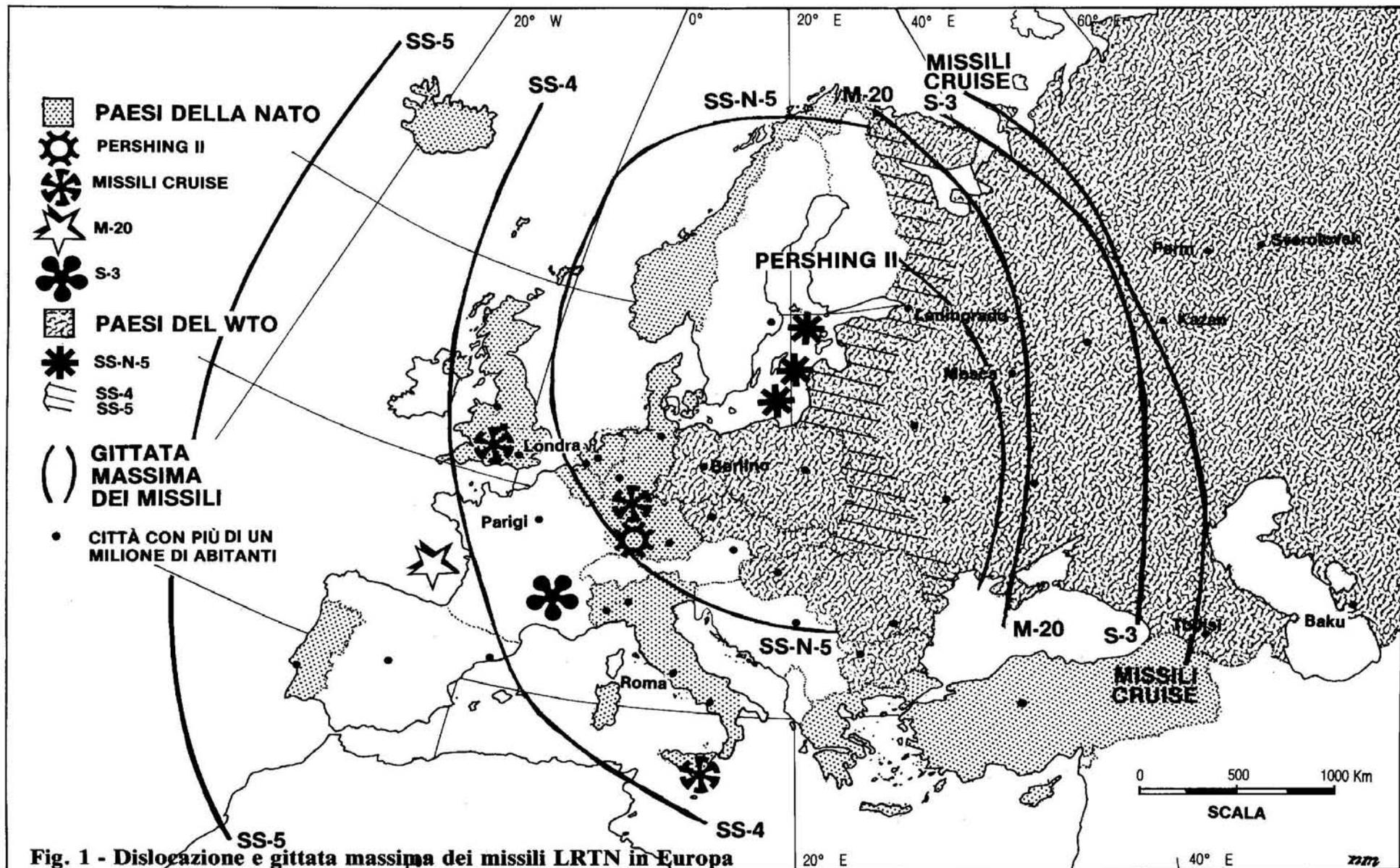
- ▷ strategici: con obiettivi i gangli politico-sociali cruciali e le forze nucleari strategiche dell'avversario**
- ▷ di teatro: impiegabili in un contesto regionale**
- ▷ tattici: impiegabili sul campo di battaglia**

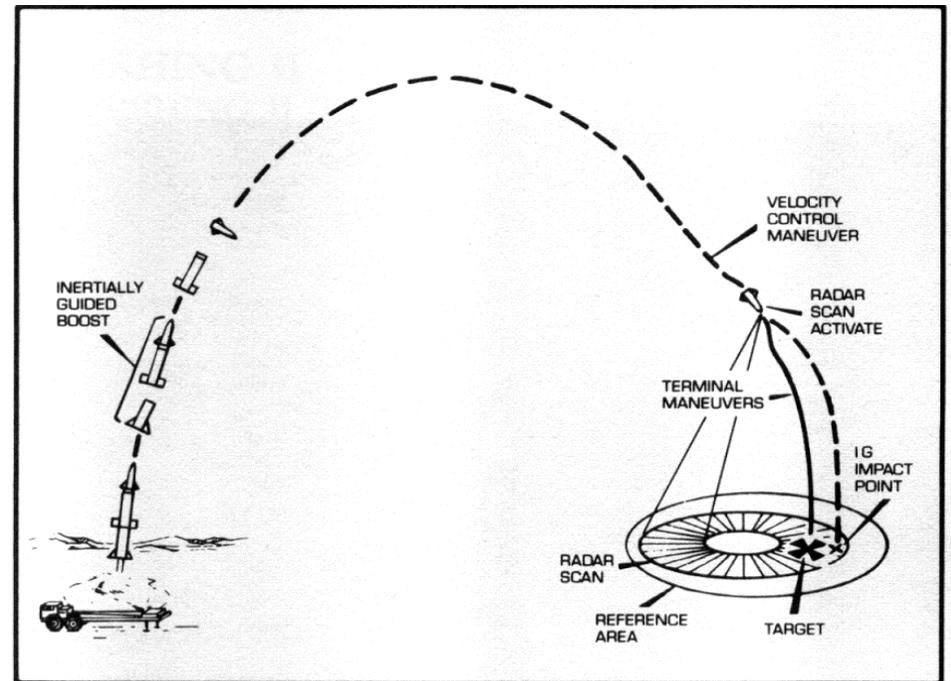
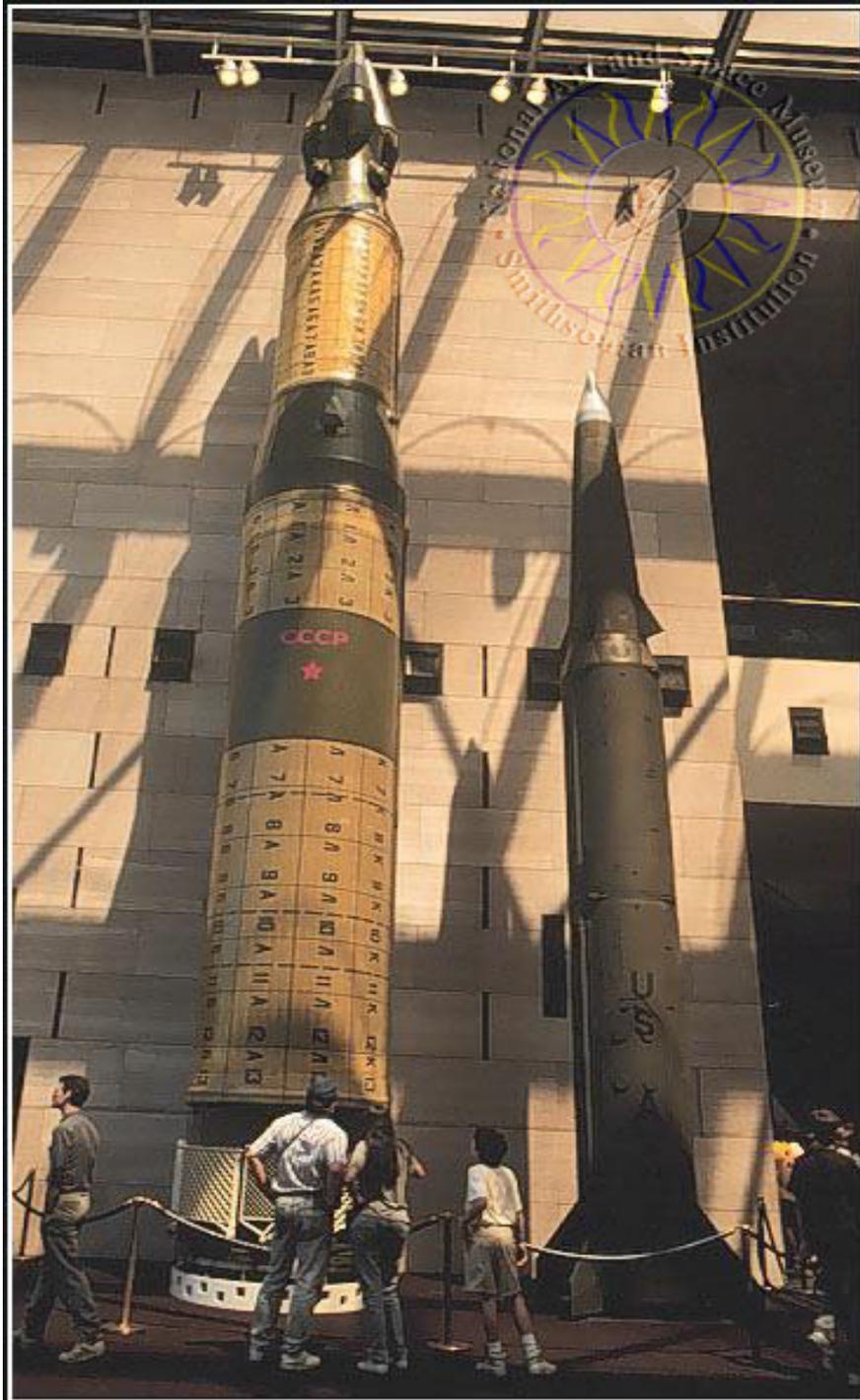
## **◆ attuale (Russia e USA)**

- ▷ strategici: quelli considerati negli accordi bilaterali USA – Russia**
- ▷ non strategici: tutti gli altri**

# **armi nucleari per il “teatro” europeo**

- ◆ **il “teatro” geografico: dall’Islanda agli Urali**
- ◆ **periodo: 1977–1987**
  - **1977 schieramento di RDS-10 (SS20 Saber) mobili, con tre testate da 150 kton, 4700–5000 km di gittata**
  - **1979 NATO “dual-track” decision: negoziati e schieramento dal 1983 di Perhing II in Germania e di cruise BGM-109G in Belgio, Italia, Olanda e UK**
  - **1985 ripresa negoziati**
- ◆ **trattato INF (8 dicembre 1987): eliminazione di tutti i missili USA e URSS di gittata fra 500 e 5500 km entro il 1° giugno 1991**





**Figure 9.9** Flight sequence of **PERSHING II** missile, showing radar scanning to increase accuracy.

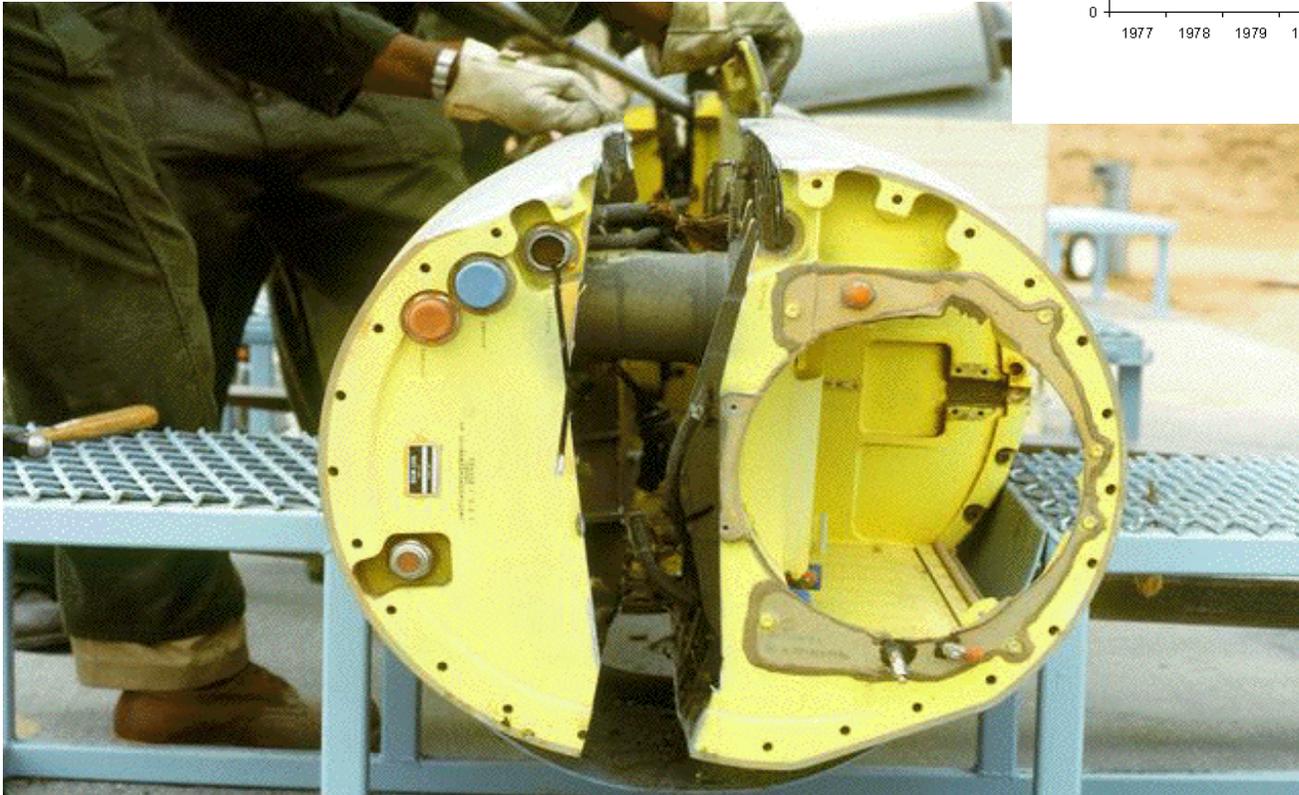
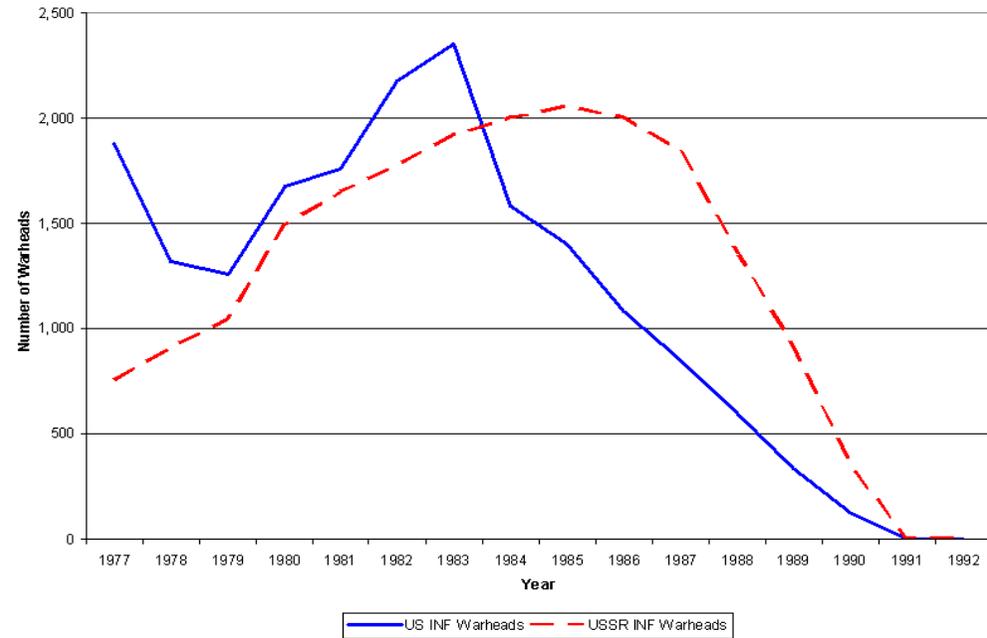
# missili non balistici (cruise)

- ◆ volano all'interno dell'atmosfera con motori a razzo
  - ◆ raggiungono gittate fino a 3000 km
  - ◆ possono volare a bassa quota e sfuggire ai radar
  - ◆ sistemi integrati di guida permettono alta precisione
  - ◆ possono essere lanciati da basi a terra, da aerei, da navi e da sommergibili
- ▷ problema: dualità di armamento, convenzionale e nucleare



# trattato INF: eliminazione delle testate e distruzione dei vettori sotto controllo bilaterale

Intermediate and Short Range Nuclear Warheads



**Table 12.3. US and Soviet missile elimination data as of 31 December 1989**

| Country      | Type        | Total        | Deployed   | Non-deployed | Eliminated   | To be eliminated |
|--------------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------------|
| USSR         | SS-20       | 654          | 405        | 249          | 339          | 315              |
|              | SS-23       | 239          | 127        | 112          | 239          | 0                |
|              | SS-4        | 149          | 60         | 89           | 116          | 33               |
|              | SS-5        | 6            | 0          | 6            | 6            | 0                |
|              | SS-12       | 718          | 85         | 633          | 718          | 0                |
|              | SSC-X-4     | 80           | 0          | 80           | 80           | 0                |
| <b>Total</b> |             | <b>1 846</b> | <b>677</b> | <b>1 169</b> | <b>1 498</b> | <b>348</b>       |
| USA          | Pershing II | 234          | 120        | 114          | 62           | 172              |
|              | GLCM        | 443          | 322        | 121          | 220          | 223              |
|              | Pershing 1A | 169          | 0          | 169          | 169          | 0                |
| <b>Total</b> |             | <b>846</b>   | <b>442</b> | <b>404</b>   | <b>451</b>   | <b>395</b>       |

*monete  
commemorative  
1 rublo/1 dollaro  
col titanio del primo  
SS-20 eliminato*



# impieghi tattici

the use of nuclear weapons by land, sea, or air forces against opposing forces, supporting installations or facilities, in support of operations that contribute to the accomplishment of a military mission of limited scope, or in support of the military commander's scheme of maneuver, usually limited to the area of military operations.



**armi tattiche della guerra fredda**  
bombe a gravità, missili a corta gittata,  
proiettili di artiglieria, mine terrestri,  
cariche di profondità e siluri nucleari,  
missili terra-aria o nave-aria e aria-aria

▷ **problema della delega dell'uso ai militari sul campo di battaglia**



# armi nucleari tattiche della NATO



Figure 4: U.S. Nuclear Weapons in Europe

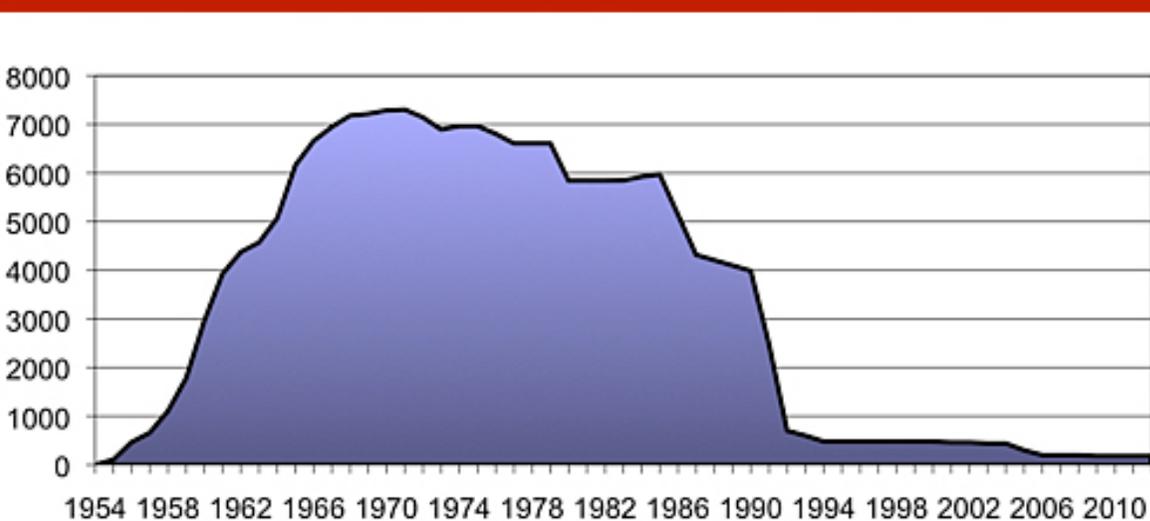


Figure 2: U.S. Nuclear Weapons in Europe

| Country      | Nuclear Weapons  |
|--------------|------------------|
| Belgium      | 10-20            |
| Germany      | 10-20            |
| Italy        | 60-70*           |
| Netherlands  | 10-20            |
| Turkey       | 60-70*           |
| <b>Total</b> | <b>160-200**</b> |

| <b>Paese</b>    | <b>Base</b>          | <b>Località</b>        | <b>Forze aeree</b>                                       | <b>Controllo testate</b>              |
|-----------------|----------------------|------------------------|--|---------------------------------------|
| <b>Belgio</b>   | <b>Kleine Brogel</b> | <b>Limburg</b>         | F-16<br>10° stormo caccia belga                          | 701° squadrone supporto munizioni USA |
| <b>Germania</b> | <b>Büchel</b>        | <b>Rheinland-Pfalz</b> | Tornado PA-200<br>33° stormo caccia-bombardieri tedeschi | 701° squadrone supporto munizioni USA |
| <b>Italia</b>   | <b>Aviano</b>        | <b>Friuli</b>          | F-16<br>31° stormo caccia USA                            | 704° squadrone supporto munizioni USA |
|                 | <b>Gheddi Torre</b>  | <b>Lombardia</b>       | Tornado PA-200<br>6° stormo caccia italiano              | 704° squadrone supporto munizioni USA |
| <b>Olanda</b>   | <b>Volkel</b>        | <b>Noord-Brabant</b>   | F-16<br>1° stormo caccia olandese                        | 703° squadrone supporto munizioni USA |
| <b>Turchia</b>  | <b>Incirlik</b>      | <b>Adana</b>           | F-16 da altre basi americane                             |                                       |

# NATO nuclear modernization

## ◆ air Force

- Italy, The Netherlands and Turkey: **F-35A**
- Germany: **Tornado life-extension**
- Belgium: **F-16 replacement**

## ◆ **B61-12 weapons**

## ◆ NATO nuclear posture

*Allies concerned will ensure that all components of NATO's nuclear deterrent remain safe, secure, and effective for as long as NATO remains a nuclear alliance.*



# bombe americane di "bassa" potenza

## US Nuclear Weapons With Low-Yield Options

*Kristensen/FAS, 2017*

**Current Weapons: 6 types, ~1,100 stockpiled**



**B61-3 tactical gravity bomb**  
 Yields: 0.3, 1.5, 60, 170 kt  
 Platforms: F-15E, F-16, PA-200



**B61-4 tactical gravity bomb**  
 Yields: 0.3, 1.5, 10, 50 kt  
 Platforms: F-15E, F-16, PA-200



**B61-7 strategic gravity bomb**  
 Yields: 10-360 kt  
 Platforms: B-2, (B-52H)



**B61-10 tactical gravity bomb**  
 Yields: 0.3, 5, 10, 80 kt  
 Platforms: F-15E, F-16, PA-200



**B83-1 strategic gravity bomb**  
 Yields: low-1,200 kt  
 Platforms: B-2, (B-52H)



**W80-1/AGM-86B air-launched cruise missile**  
 Yields: 5-150 kt  
 Platforms: B-52H

**Future Weapons: 2 types, ~1,000 stockpiled**

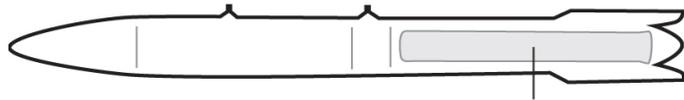


**B61-12 tactical/strategic gravity bomb**  
 Yields: 0.3, 1.5, 10, 50 kt  
 Platforms: B-2A, B-21, F-15E, F-16C/D, F-35A, PA-200



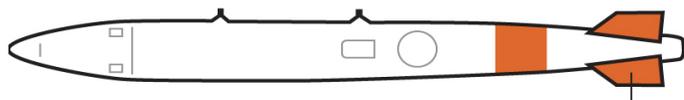
**W80-4/LRSO air-launched cruise missile**  
 Yields: low-150 kt  
 Platforms: B-2A, B-21, B-52H

### OLDER B61 NUCLEAR BOMB



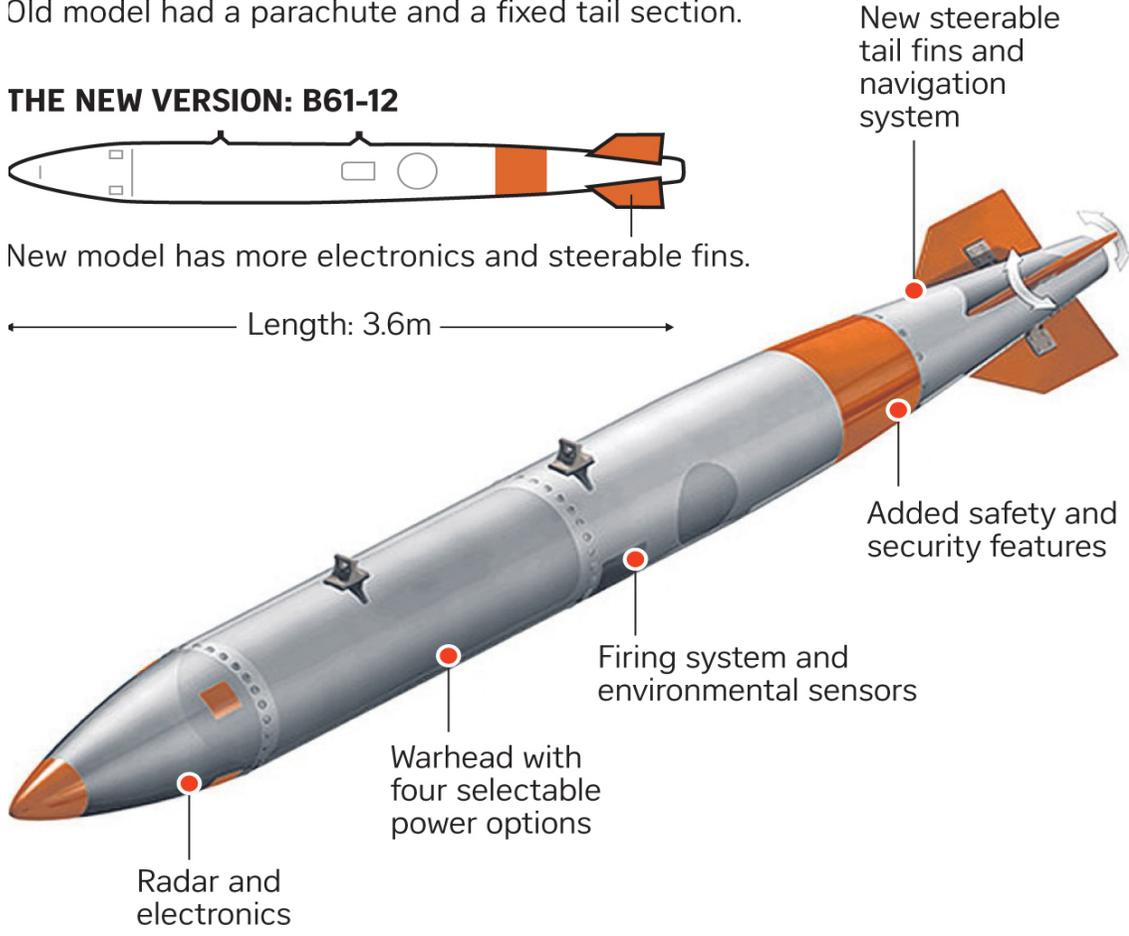
Old model had a parachute and a fixed tail section.

### THE NEW VERSION: B61-12



New model has more electronics and steerable fins.

← Length: 3.6m →



New steerable tail fins and navigation system

Added safety and security features

Firing system and environmental sensors

Warhead with four selectable power options

Radar and electronics

# armi nucleari "tattiche" russe

| <b>Estimated Russian Tactical Nuclear Weapons</b> |   |                          |                   |
|---|---|--------------------------|-------------------|
| <u>Weapons Category</u>                           | <u>Reduction Since 1991<sup>a</sup></u> | <u>Weapons Remaining</u> |                   |
|   |   | <u>(total)</u>           | <u>(deployed)</u> |
| Army  | 100 percent                             | 0 <sup>b</sup>           | 0                 |
| Air/missile defence <sup>c</sup>                  | 60 percent <sup>d</sup>                 | 1,120                    | 700               |
| Air Force   | 50 percent                              | 2,000                    | 650               |
| Navy  | 30 percent                              | 2,270                    | 700               |
| <b>Total</b>                                      |   | <b>5,390</b>             | <b>2,050</b>      |

<sup>a</sup> According to Colonel General Vladimir Verkhovtsev in "Russia determined to keep tactical nuclear arms for potential aggressors," *Pravda*, October 31, 2007.

<sup>b</sup> The Bush administration claimed in 2004 that Russia had not eliminated all.

<sup>c</sup> Includes surface-to-air missiles and anti-ballistic missiles.

<sup>d</sup> This reduction is 10 percent greater than President Yeltsin's pledge.

© Hans M. Kristensen/Federation of American Scientists, 2009

Figure 20: SSC-1b Sepal Launch



The SSC-1b Sepal (Redut) coastal missile defense system is thought to be operational with a secondary nuclear role. Image: Russian Ministry of Defense

Figure 15: Soltsy Air Base



Soltsy Air Base, Russia  
Image: May 25, 2008 (DigitalGlobe via GoogleEarth)

# armi tattiche russe



Figure 17: SS-N-22 Loading



An SS-N-22 is loaded onto a Dergach-class patrol boat at the Russian base at Sevastopol in Ukraine (the ship is at coordinates 44°37'24.61"N, 33°32'44.82"E).

Image: Russian Ministry of Defense

Figure 13: Estimated Russian Non-Strategic Nuclear Forces, 2012

| Delivery Platform             | Number Deployed | Years Deployed | Nuclear Capability                   | Estimated Warheads |
|-------------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------------|--------------------|
| <i>Air Forces<sup>a</sup></i> |                 |                |                                      | ~730               |
| Tu-22M3 Backfire-C            | 150             | 1986           | AS-4 Kitchen, AS-16 Kickback, bomb   |                    |
| Su-24M Fencer                 | 260             | 1974           | Bomb                                 |                    |
| Su-34 Fullback                | 20              | 2011           | Bomb                                 |                    |
| <i>Navy</i>                   |                 |                |                                      | ~700               |
| Borey SSBN*                   | (1)             | 2012           | SS-N-15 <sup>2</sup> , torpedo       |                    |
| Delta IV SSBN*                | 6               | 1984-1990      | SS-N-15, torpedo                     |                    |
| Delta III SSBN*               | 3               | 1979-1982      | Torpedo                              |                    |
| Oscar II SSGN                 | 8               | 1988-1996      | SS-N-19, SS-N-16, SS-N-15, torpedo   |                    |
| Akula I/II SSN                | 10              | 1988-2001      | SS-N-21, SS-N-16, SS-N-15, torpedo   |                    |
| Severodvinsk SSN              | (1)             | 2012           | SS-N-15, torpedo                     |                    |
| Sierra I/II SSN               | 3               | 1987-1993      | SS-N-21, SS-N-16, SS-N-15, torpedo   |                    |
| Victor III SSN                | 4               | 1988-1992      | SS-N-21, SS-N-16, SS-N-15, torpedo   |                    |
| Kilo SS                       | 15              | 1981-          | Torpedo                              |                    |
| Kuznetsov CV                  | 1               | 1990           | SS-N-19, DB                          |                    |
| Kirov CGN                     | 2               | 1980-1998      | SS-N-19, SS-N-16, SA-N-20, DB        |                    |
| Slava CG                      | 3               | 1982-1990      | SS-N-12, SA-N-20, DB                 |                    |
| Sovremenny DDG                | 7               | 1980-1993      | SS-N-22                              |                    |
| Udaloy II DDG                 | 1               | 1999           | SS-N-22, DB                          |                    |
| Udaloy DDG                    | 8               | 1982-1991      | DB <sup>b</sup>                      |                    |
| Krivak I FFG                  | 2               | 1980-1981      | DB <sup>b</sup>                      |                    |
| Neustashimyy FFG              | 2               | 1993-2009      | SS-N-16, SS-N-15                     |                    |
| Nanuchka I/III FSG            | 14              | 1970-1991      | SS-N-9                               |                    |
| Tarantul III FSG              | 18              | 1986-1995      | SS-N-22                              |                    |
| Dergach PHM                   | 2               | 1995-1997      | SS-N-22                              |                    |
| <i>Army</i>                   |                 |                |                                      | ~170               |
| SS-21 Scarab (Tochka)         | 150             | 1981           | SS-21 Scarab                         |                    |
| SS-26 Stone (Iskander)        | 24              | 2005           | SS-26 Stone                          |                    |
| <i>Defense</i>                |                 |                |                                      | ~430               |
| A-135 ABM                     | 68              | 1989/1986      | Gorgon, Gazelle                      |                    |
| S-300                         | ~1,000          | 1980/1986      | SA-10 Grumble, SA-12 Gladiator/Giant |                    |
| Coastal                       | 34              | 1973           | SSC-1B Sepal                         |                    |
| <b>Total</b>                  |                 |                |                                      | <b>~2,000</b>      |

# la distinzione “strategico-tattico” al di fuori del rapporto Russia-USA è poco significativo

si considerano tattiche armi a portata inferiore a 500 km; comprendono bombe a gravità, missili balistici e cruise



# **impieghi strategici**

**A strategic mission is directed against one or more of a selected series of enemy targets with the purpose of progressive destruction and disintegration of the enemy's war-making capacity and will to make war. Targets include key manufacturing systems, sources of raw material, critical material, stockpiles, power systems, transportation systems, communication facilities, and other such target systems. As opposed to tactical operations, strategic operations are designed to have a long-range rather than immediate effect on the enemy and its military forces.**

- countervalue: popolazione civile, impianti industriali, centri politici**
- counterforce: forze nucleari operative, basi militari nucleari, centri di comando e controllo militari**
  - ▷ richiede alta precisione dell'attacco**
- anti-missile balistico (ABM)**

# 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

# criteri per le armi americane (NPR 2018)

- › **Survivable.** The force and NC3 resilience needed to survive any potential adversary attack and endure throughout crises and conflict.
- › **Forward Deployable.** The mobility and range needed to temporarily or permanently relocate some U.S. nuclear capability to allied or partner territory for needed political or military effect.
- › **Diverse and Graduated Options.** The availability of forces with the spectrum of yield options, weapon types, and delivery options necessary to support the most effective tailoring of strategies across a range of adversaries and contingencies.
- › **Accurate Delivery.** The precision needed to hold adversary assets at risk while minimizing unintended effects.
- › **Penetrating.** The capacity to counter active and passive defenses, including hardened and buried facilities, to pose credible deterrent threats and achieve military objectives with high confidence.

# criteri per le armi americane (NPR 2018)

- › **Responsive**. The capacity to deploy and employ forces as promptly as is necessary to pose credible threats.
- › **Diversity of Ranges**. The availability of forces with a spectrum of range options necessary to support the most effective tailoring of strategies.
- › **Diversity of Trajectories**. The capacity to locate forces at multiple geographical locations and with multiple flight profiles to complicate adversary active and passive defense planning.
- › **Visible**. The capacity to display national will and capabilities as desired for signaling purposes throughout crisis and conflict.
- › **Weapon Reallocation**. The capacity to change target information quickly to enable adaptive planning and effective employment.

# **funzioni delle armi americane (NPR 2018)**

**Together with effective NC3, these force attributes provide the flexible and resilient capabilities needed to support four essential functions:**

- › Provide survivable, responsive capabilities to ensure adversaries do not attempt a disarming first strike;**
- › Demonstrate resolve through the positioning of forces, messaging, and flexible response options;**
- › Ensure the U.S. can respond to a broad range of contingencies with tailored options; and**
- › Mitigate the risk of a technological failure or adversary breakthrough while providing adaptability to changes in the security environment.**

# limiti degli aerei strategici anni '50

- ◆ **limitato raggio d'azione (3000 km)**
  - ⇒ **basi avanzate (USA in UK, URSS in Europa-Est)**
  - ⇒ **rifornimento in volo**
- ◆ **ridotta penetrabilità della difesa antiarea**
  - ⇒ **bombardamento ad alta quota**
  - ⇒ **imprecisione**
  - ⇒ **bomba H**
- ▷ **missili cruise nucleari**
- ▷ **sviluppo tecnologia stealth**

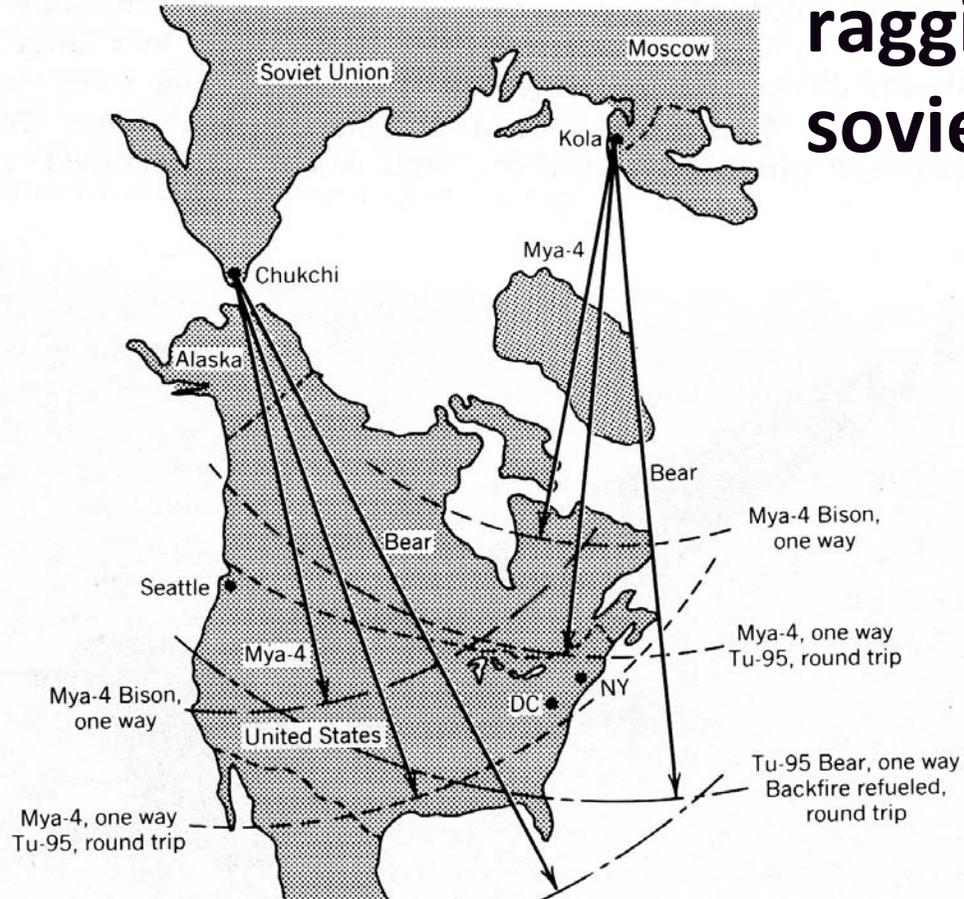


# verso aerei intercontinentali

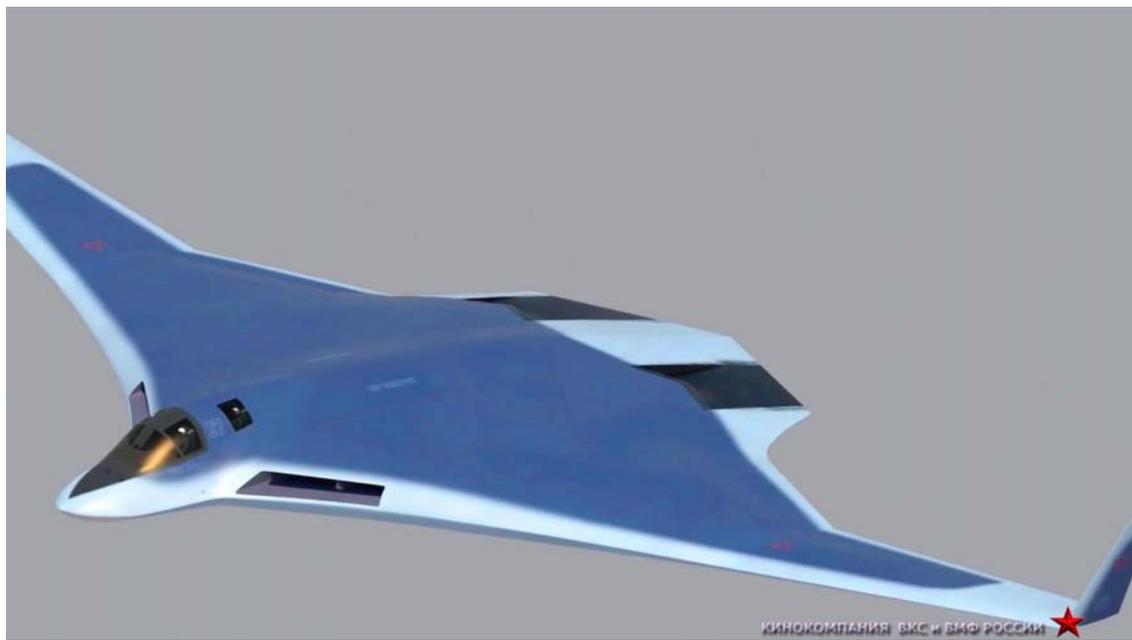


**B29 e B36 a confronto**

# raggi d'azione dei bombardieri sovietici



1955 il primo aereo intercontinentale sovietico Mya-4 (Bison)



- aerei a bassa segnatura radar (stealth)**
- bombardiere americano B2-A
  - progetto russo PAK DA

# **sopravvivenza degli aerei strategici**

**le basi aeree sono note o facilmente individuabili**

**⇒ mantenimento aerei costantemente in volo**

**⇒ rischio di incidenti e di cadute**

**⇒ esplosioni accidentali delle bombe**

**⇒ perdita di armi nucleari**

**Palomares (17.1.1966)**

**un B-52 si scontra con  
un aereo cisterna**

**- due bombe disperdono  
materiale radioattivo**

**- una finisce in mare  
ripescata dopo 11 settimane**

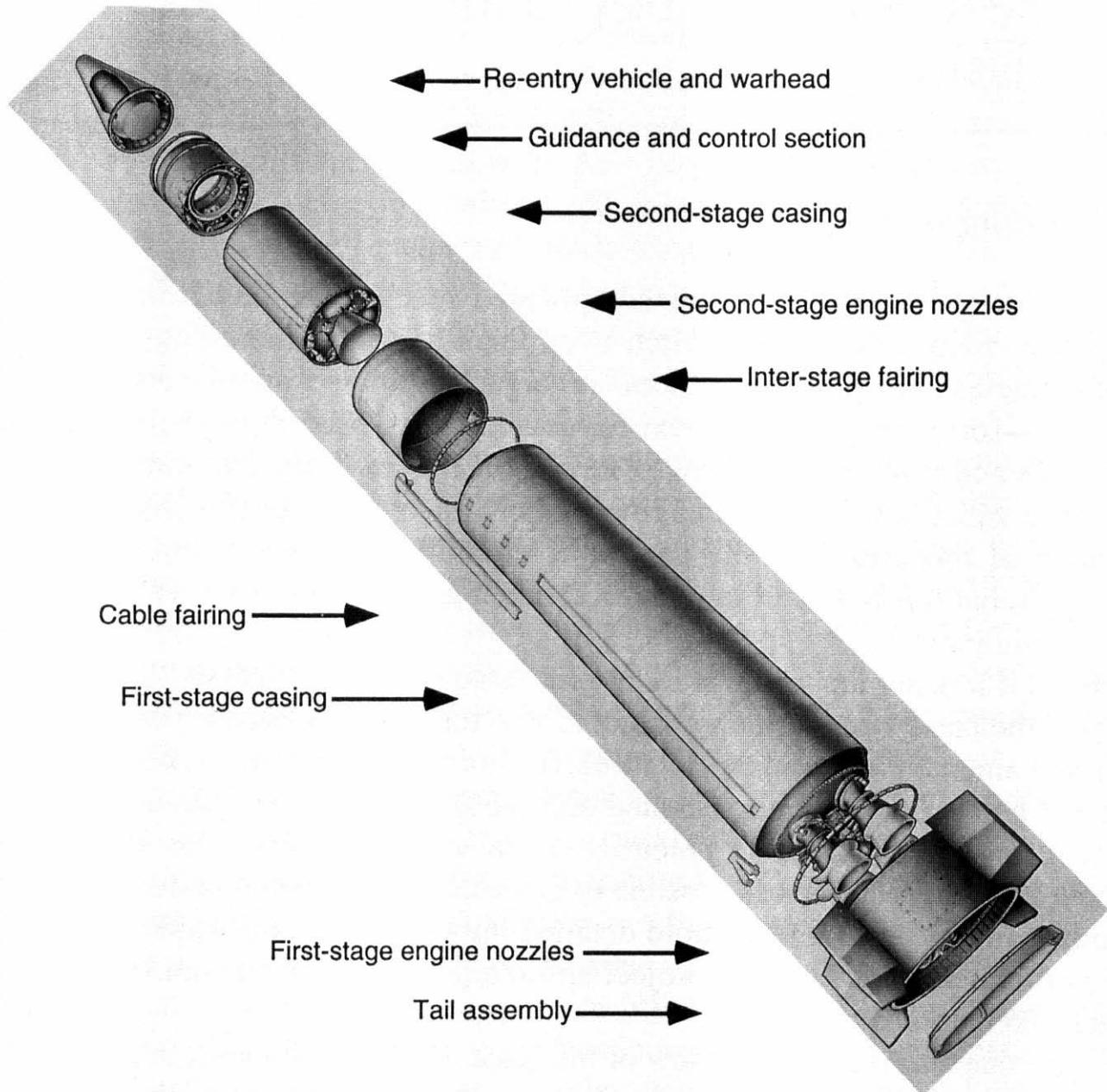


# missili balistici intercontinentali (ICBM)

- ◆ risolvono il problema della penetrabilità
- ◆ gittata fin oltre 13.000 km
- ◆ breve tempo di volo ( $\approx 35$  m)
- ◆ problemi
  - ▷ accuratezza
  - ▷ inesorabilità
  - ▷ localizzabilità

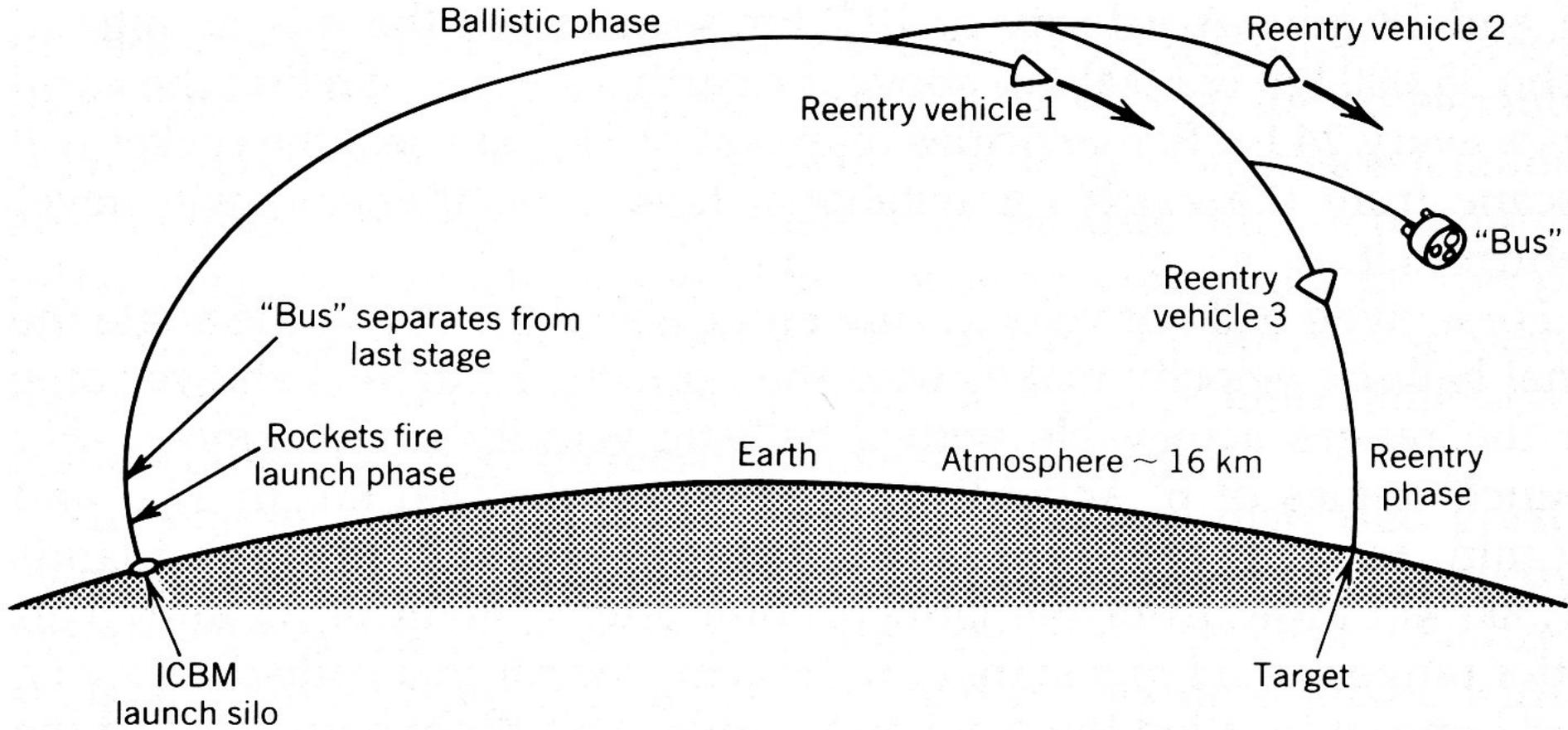
⇒ molti test  
per minimizzare  
le testate





**Figure 5.1.** The major components of a long-range ballistic missile (Photograph courtesy of Aérospatiale)

# Intercontinental Ballistic Missiles



**Figure 6.2** The three phases of the flight of an intercontinental ballistic missile.

# Deployment history of land based intercontinental ballistic missiles 1959-2014

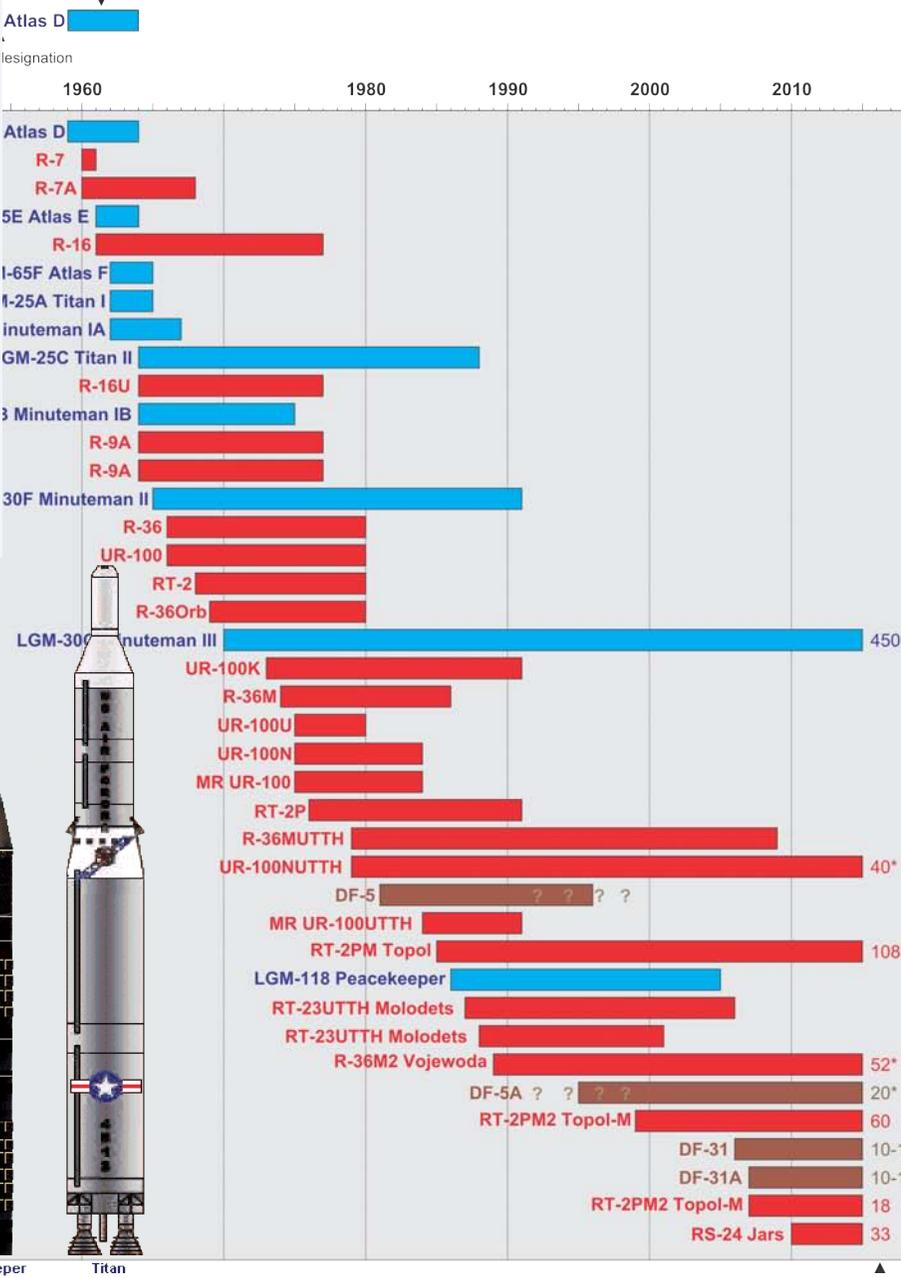
USA

USSR / Russia

Peoples Republic of China

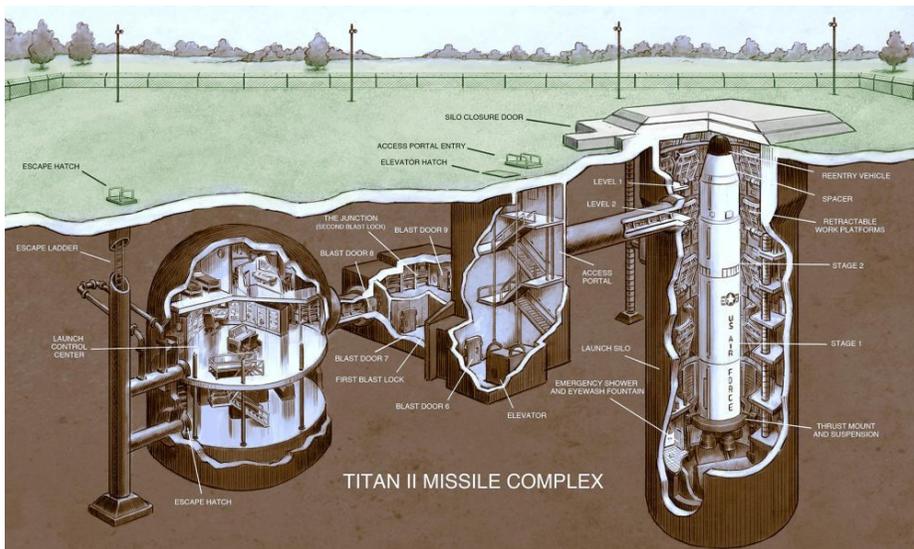
Deployment (Beginning of first to end of last deployment year)

Fuel: Convair; RP-1 / LOX; soft pad / coffin; 1 RV; 30 deployed  
 Warhead types: OKB-1 (Korolev); RP-1 / LOX; soft pad; 1 RV; 4 deployed  
 Developer: Convair; RP-1 / LOX; soft pad; 1 RV; 4 deployed  
 Basing mode: OKB-586 (Yangeli); UDMH / RFNA; soft pad; 1RV; 128 deployed  
 maximum number of deployed mis: Convair; RP-1 / LOX; silo (lift); 1 RV; 72 deployed  
 excluding test sites: Martin; RP-1 / LOX; silo (lift); 1 RV; 54 deployed  
 Boeing; solid; silo (hot); 1RV; 150 deployed  
 Martin; Aerozin 50 / NTO; silo (hot); 1 RV; 54 deployed  
 OKB-586 (Yangeli); UDMH / RFNA; silo (hot); 69 deployed  
 Boeing; solid; silo (hot); 1 RV; 550 deployed  
 OKB-1 (Korolev); RP-1 / LOX; soft pad; 1RV; 14 deployed  
 OKB-1 (Korolev); RP-1 / LOX; silo (hot); 1 RV; 9 deployed  
 Boeing; solid; silo (hot); 1RV; 450 deployed  
 OKB-586 (Yangeli); UDMH / NTO; silo (hot), 1 RV / 3 MRV; 268 deployed  
 OKB-52 (Chelomej); UDMH / NTO; silo (hot), 1 RV; 990 deployed  
 OKB-1 (Korolev) / TsKBEM; solid; silo (hot), 1 RV; 60 deployed  
 OKB-586 (Yangeli); UDMH / NTO; silo (hot), 1 FOBS; 18 deployed  
 Boeing; solid; silo (hot); 3 MIRV / 1 RV; 550 deployed  
 TsKBEM; UDMH / NTO; silo (hot), 1 RV / 3 MRV; 440 deployed  
 Yuzhnoye; UDMH / NTO; silo (cold), 1 RV / 8 MIRV / 10 MIRV; 268 deployed  
 TsKBEM; UDMH / NTO; silo (hot), 3 MRV; 120 deployed  
 TsKBEM; UDMH / NTO; silo (hot), 6 MRV; 190 deployed  
 Yuzhnoye; UDMH / NTO; silo (cold), 4 MIRV; 150 deployed  
 Arsenal; solid; silo (hot), 1 RV; 60 deployed  
 Yuzhnoye; UDMH / NTO; silo (cold), 10 MIRV / 1 RV; 308 deployed  
 TSKBM; UDMH / NTO; silo (hot), 6 MRV; 360 deployed  
 CAST; UDMH / NTO; tunnel / silo (hot), 1 RV; 20 deployed\*  
 Yuzhnoye; UDMH / NTO; silo (cold), 4 MIRV; 150 deployed  
 MITT; solid; mobile (road); 1 RV; 369 deployed  
 Martin-Marietta; solid; silo (cold); 10 MIRV; 50 deployed  
 Yuzhnoye; solid; mobile (railway); 10 MIRV; 36 deployed  
 Yuzhnoye; Feststoff; silo (cold); 10 MIRV; 56 deployed  
 Yuzhnoye; UDMH / NTO; silo (cold), 10 MIRV; 58 deployed  
 CAST; UDMH / NTO; silo (hot), 1 RV; 20 deployed\*  
 MITT; solid; silo (hot); 1 RV; 60 deployed  
 ARMT; solid; mobile (road), 1 RV; 10-15 deployed\*  
 ARMT; solid; mobile (road), 1 RV; 10-15 deployed\*  
 MITT; solid; mobile (road); 1 RV; 18 deployed  
 MITT; solid; mobile (road); 4 MIRV; 33 deployed



# sopravvivenza degli ICBM

- ◆ sopravvivenza passiva
  - occultamento (sistemi mobili)
    - ⇒ perdita di accuratezza
  - schermatura dei silo
    - ⇒ localizzabili, ma...
- ◆ sopravvivenza attiva
  - sistemi anti-missile balistico (ABM)



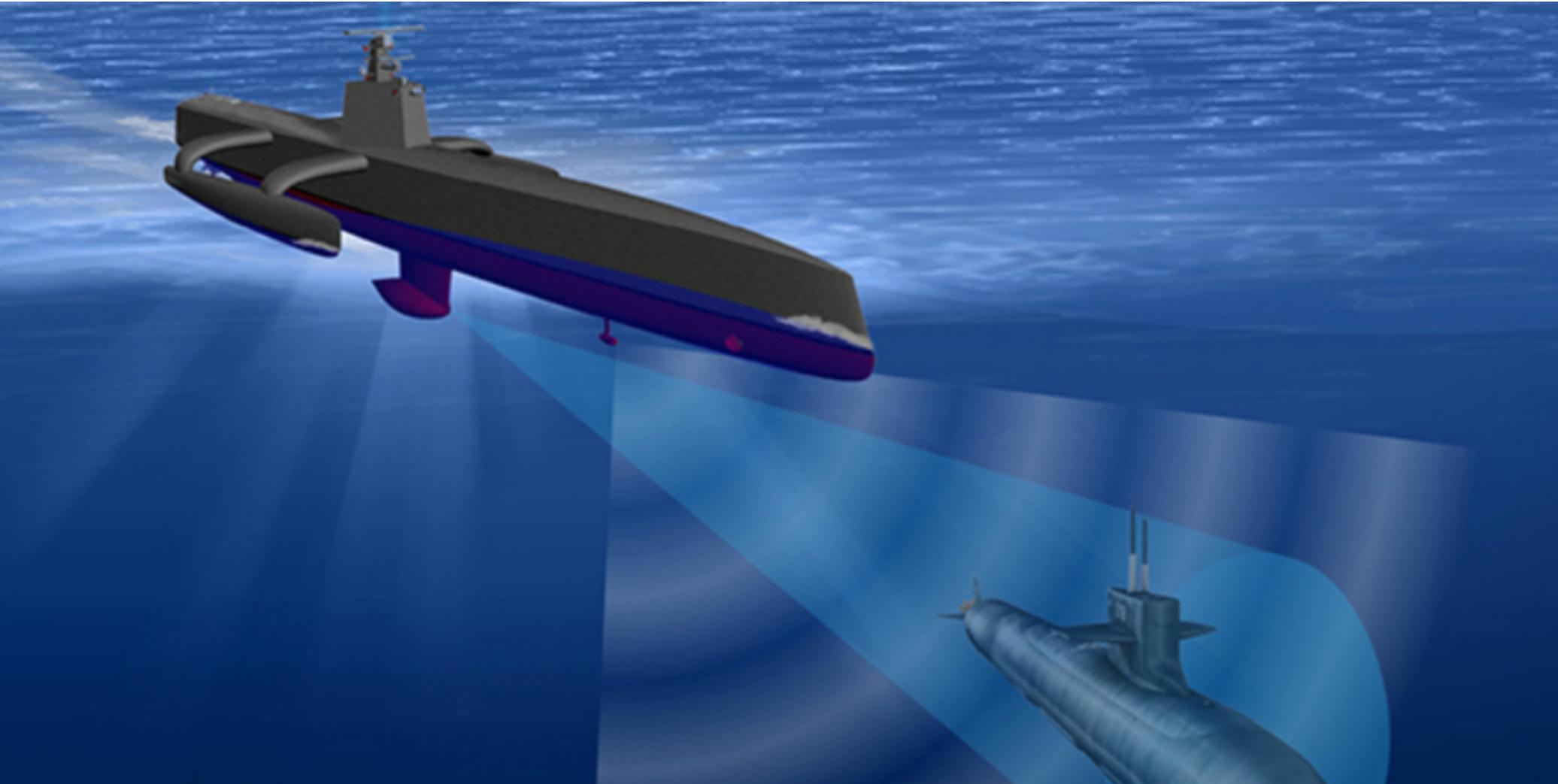
# **vulnerabilità e timore di attacchi a sorpresa**

- ◆ **forze vulnerabili invitano attacchi da parte degli avversari**
- ◆ **forze vulnerabili possono portare a scelte “use them or lose them”**
- ◆ **il timore reciproco di attacchi a sorpresa potrebbe produrre in tempi di crisi pressione per impieghi anticipati di armi nucleari**



**sommergibili a propulsione nucleare costituiscono  
piattaforme per ICBM assolutamente occultabili  
(finora...)**

# Anti-Submarine Warfare (ASW) Continuous Trail Unmanned Vessel (ACTUV)



## Features of “Legs” of the Strategic TRIAD

### ICBMs

- full target coverage
- high degree of accuracy (depending on model)
- assured ballistic penetration
- rapid retargeting capability
- constant survivable command and control
- highest degree of reliability (98%)<sup>1</sup>
- highest degree of alert (90%+)
- hardened silos
- post attack survivability
- quickest reaction time
- low operating cost (\$330 m/yr)<sup>2</sup>

### SLBMs

- highest degree of survivability (60% of forces at sea )
- assured ballistic penetration
- tenuous communications link
- high degree of reliability
- ability to withhold from initial attack
- invulnerable to detection or attack<sup>3</sup>

### Bombers

- survivability of forces on alert (30%)<sup>4</sup>
- recallable after takeoff
- flexible targeting to include mobile targets, targets of opportunity, and multiple targets separated by long distances
- highest degree of accuracy
- vulnerable to air defenses
- ability to withhold from initial attack

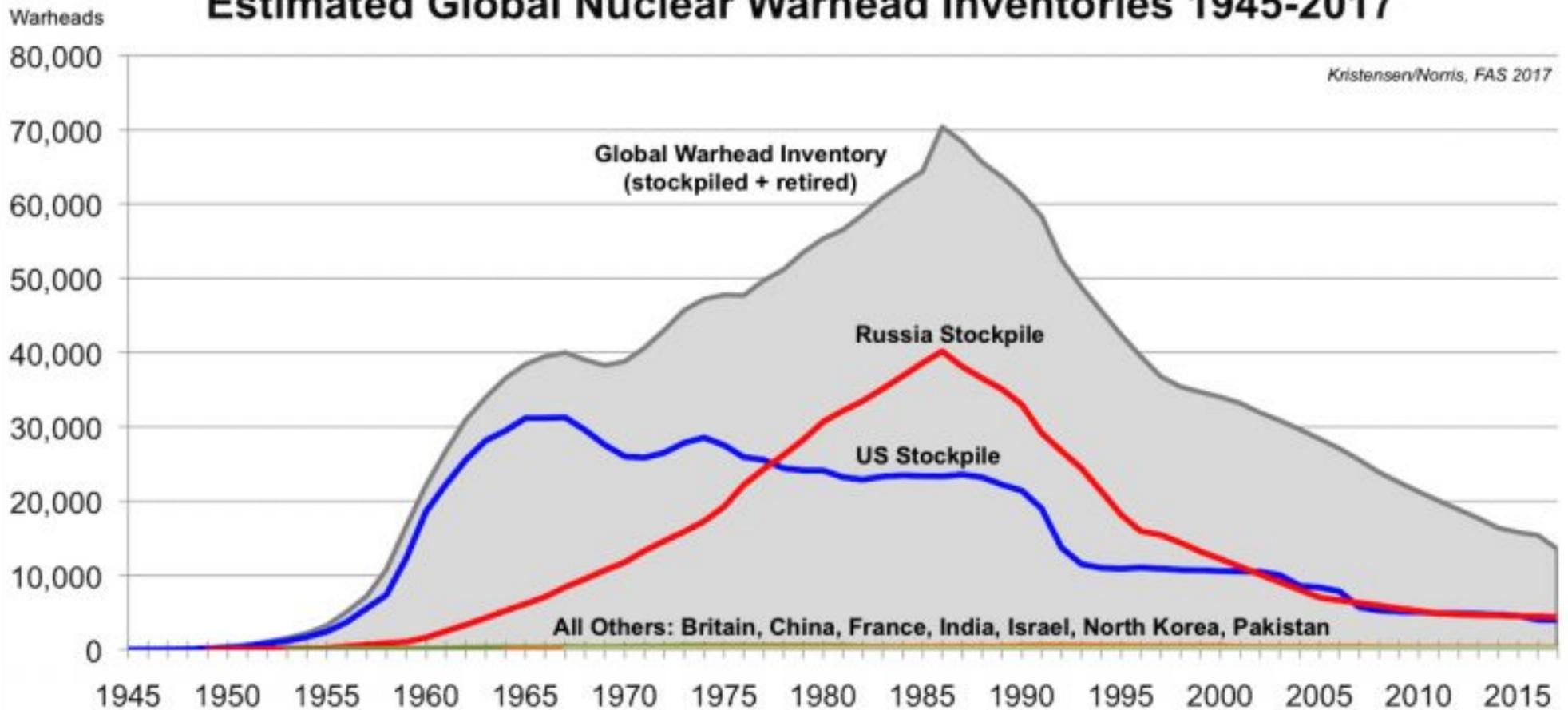
# garanzia di sopravvivenza delle forze nucleari: la ridondanza ...



# evoluzione temporale degli ordigni nucleari

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

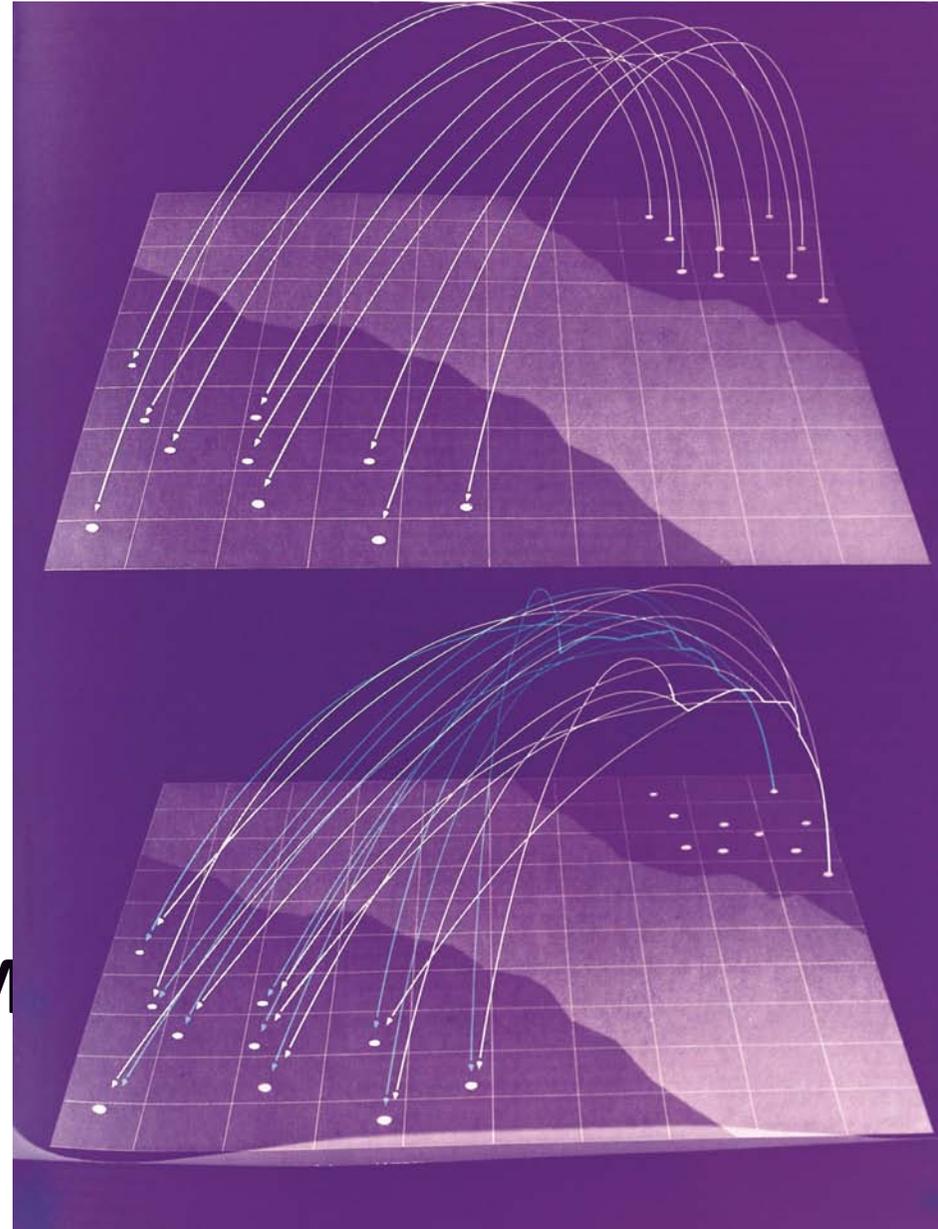
## Estimated Global Nuclear Warhead Inventories 1945-2017



# MIRV Multiple Independently-targetable Reentry Vehicle

uno stesso missile può portare nell'ogiva un "bus" con più testate e indirizzarle contro obiettivi distinti anche molto separati fra loro

- ▷ sviluppo tecnologico dirompente
- ▷ legato allo sviluppo degli ABM





# **a nuclear war-winning capability**

**i sistemi MIRV possono 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.**

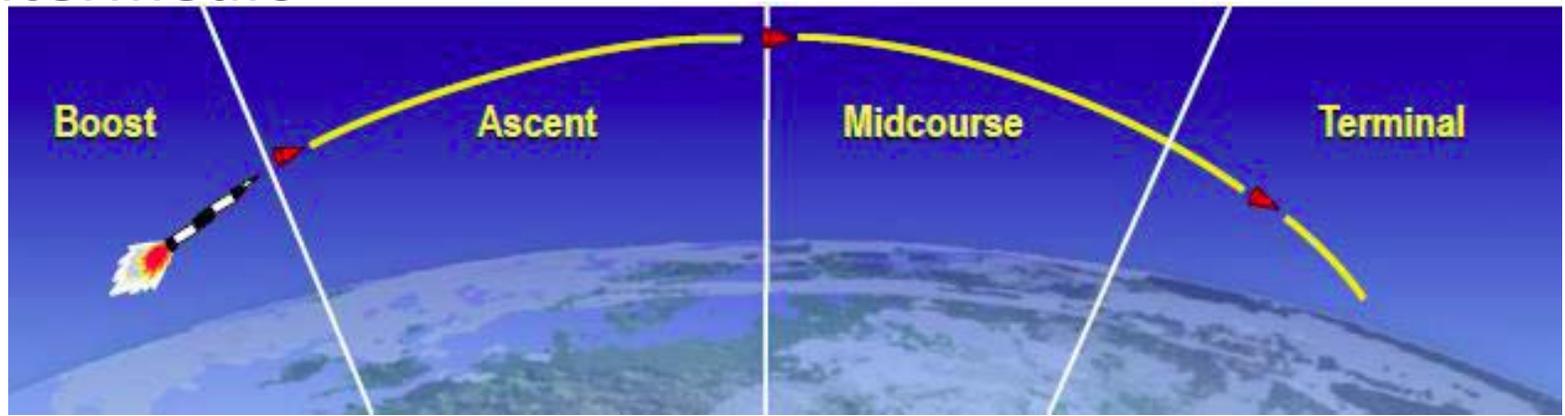
# **vantaggi e incentivi ad attaccare per primi**

- **Preventive war: attack to disarm the other side**
- **Preemptive war: attack first if it appears that the other side is going to attack**
- **Damage limitation: attack first if war or escalation in war appears inevitable in order to reduce the capability of the other side to inflict damage. Better to reduce the threat as much as possible. Provides grounds for first use even when some opposing forces will survive attack.**
- ▷ **First strike incentives produce instability: decision-makers will have rationales for using nuclear weapons and each side will fear the other's first strike temptations.**

# **sistemi di difesa contro i missili balistici (ABM)**

**integrano sensori, armi e sistemi di gestione della battaglia per distruggere missili balistici o veicoli di rientro durante il volo**

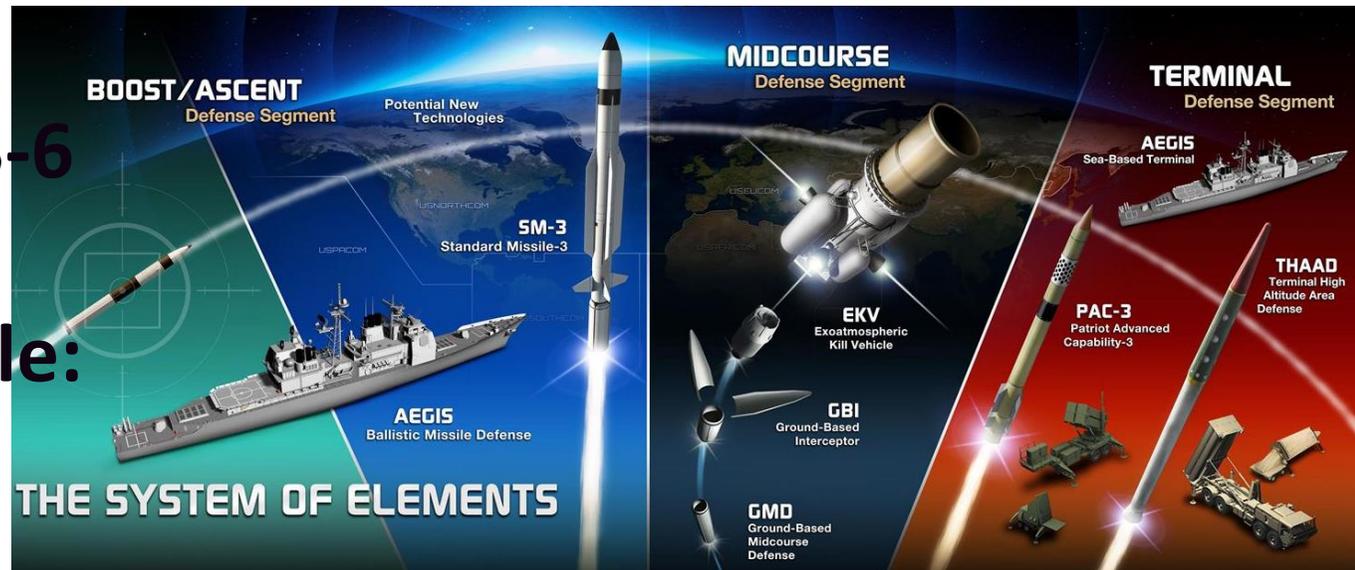
- ◆ **gli ABM possono mirare a difese puntuali o d'area**
  - **difese puntuali per proteggere beni di alto valore, sedi di leadership politica, siti di comando e controllo (C2), basi missilistiche e città**
    - ▷ **attaccano i missili nella fase terminale**
  - **difese d'area per proteggere zone estese**
    - ▷ **attaccano il missile durante la fase di spinta fino alla fase di volo intermedio**



# funzioni di un sistema ABM

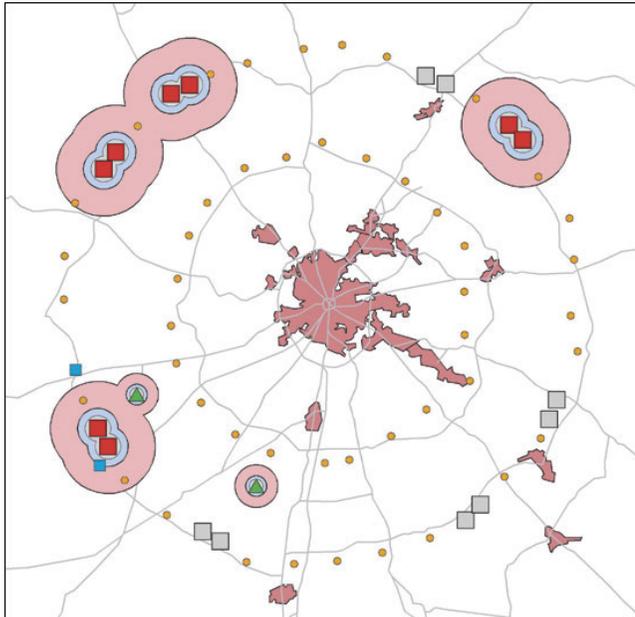
1. individuare il lancio del missile
2. individuare l'ogiva nemica
3. riconoscere la testata fra i residui del missile e le civette
4. prevedere la traiettoria della testata
5. il missile ABM deve venir guidato contro la testata
6. la testata nemica deve venir distrutta in modo verificabile

- ▷ ripetere il ciclo 3-6 per ogni testata
- ▷ tempo disponibile: meno di 30 m



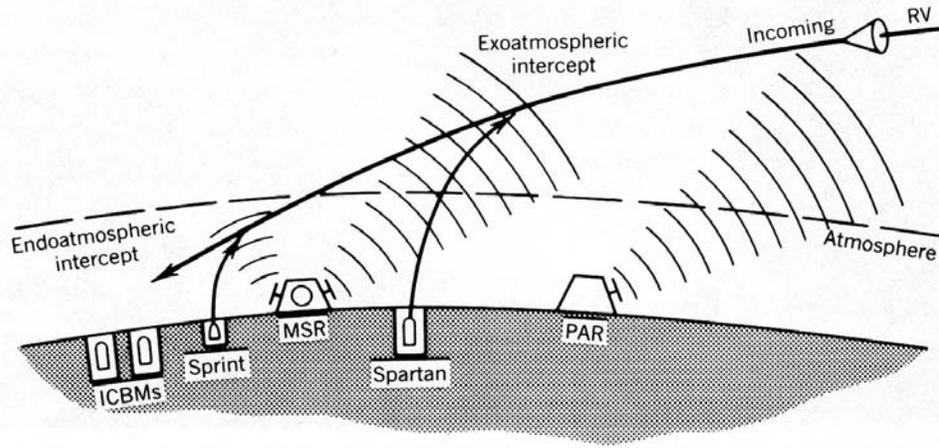
# Galosh – il sistema ABM russo (esistente)

- sistema puntiforme per difendere Mosca,
- iniziato nei primi anni '60, limitato a 100 intercettatori dall'aggiornamento del trattato ABM nel 1974
- intercettori eso-atmosferici (A-350) guidati da radar di terra
- impiego di una testata nucleare (da 1 a parecchi Mton)
- efficacia limitata contro alcune contromisure
- continui aggiornamenti (ultima versione A-135)



# Safeguard – il sistema ABM americano (anni '70)

- sistema puntiforme per difendere basi missilistiche
- iniziato nei primi anni '60, limitato a 100 intercettatori dall'aggiornamento del trattato ABM nel 1974
- intercettori eso-atmosferici (Spartan) con testata nucleare (qualche Mton)
- intercettori endo-atmosferici (Sprint) con testata nucleare
- guidati da radar di terra



**Figure 10.1** A two-layer ABM defense system like the 1969 Safeguard concept with long-range and short-range missiles and with long-range perimeter acquisition radar and short-range missile site radar.



# BMDS – il corrente sistema ABM americano

- utilizza intercettori *hit-to-kill* per difesa da attacchi limitati
- opera a più livelli, laddove possibile
  - ▷ Boost: il migliore, ma il più impegnativo per accesso (qualche minuto di tempo e copertura globale)
  - ▷ Midcourse: fornisce un'ampia difesa a zona, ma molto impegnativo dal punto di vista tecnico
  - ▷ Terminale: efficace contro testate non manovrabili, ma solo per difesa puntuale
- l'approccio multi-livello migliora l'efficacia del sistema
- usa sensori nello spazio, a terra e in mare



SATELLITE SURVEILLANCE



FORWARD-BASED RADAR



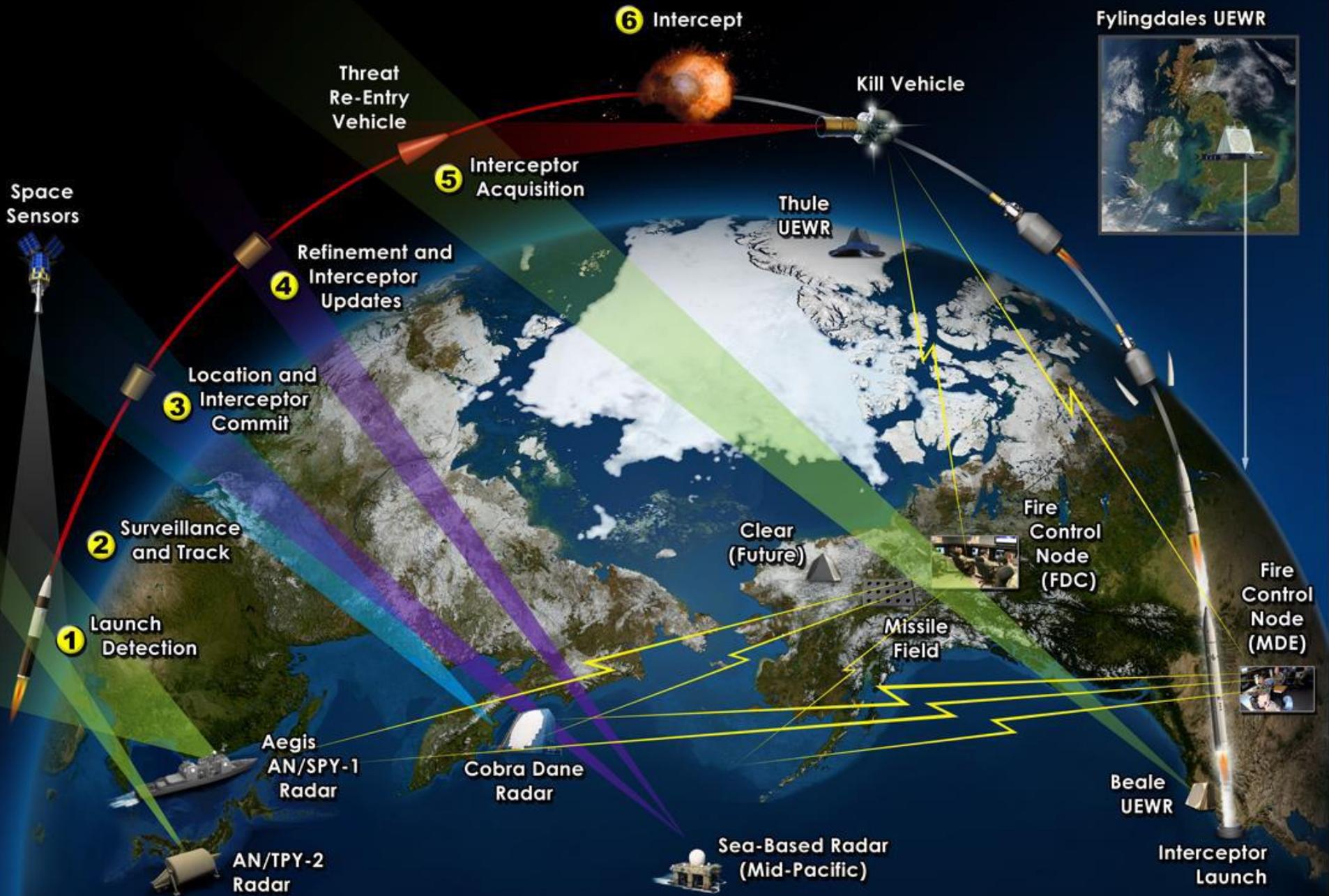
UPGRADED EARLY WARNING RADAR



AEGIS BMD SPY-1 RADAR



SEA-BASED X-BAND RADAR



# **efficacia dei presenti sistemi ABM**

- **i sistemi attuali e in sviluppo hanno una capacità limitata di sconfiggere con successo un attacco missilistico**
  - ▷ **gli attaccanti possono usare una varietà di contromisure (civette, detriti, mondiglia ...) per degradare l'efficacia della difesa missilistica**
  - ▷ **sono saturabili da attacchi simultanei di molti missili**
  - ▷ **sono inefficaci contro i missili ipersonici e lanciati da sottomarini**
- **l'approccio multi-livello può consentire un'efficacia "ragionevole" contro attacchi limitati**
  - ▷ **possono scoraggiare attacchi limitati**
- **l'obiettivo di superare i presenti limiti è una difficile sfida tecnologica e richiede enormi risorse**

# **implicazioni strategiche dei sistemi ABM**

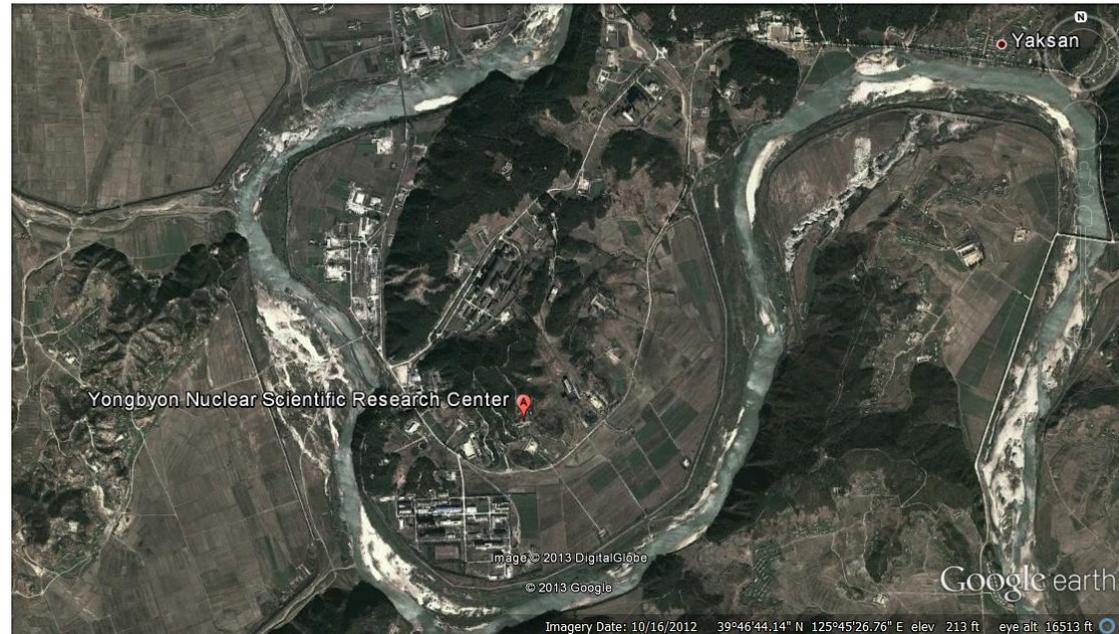
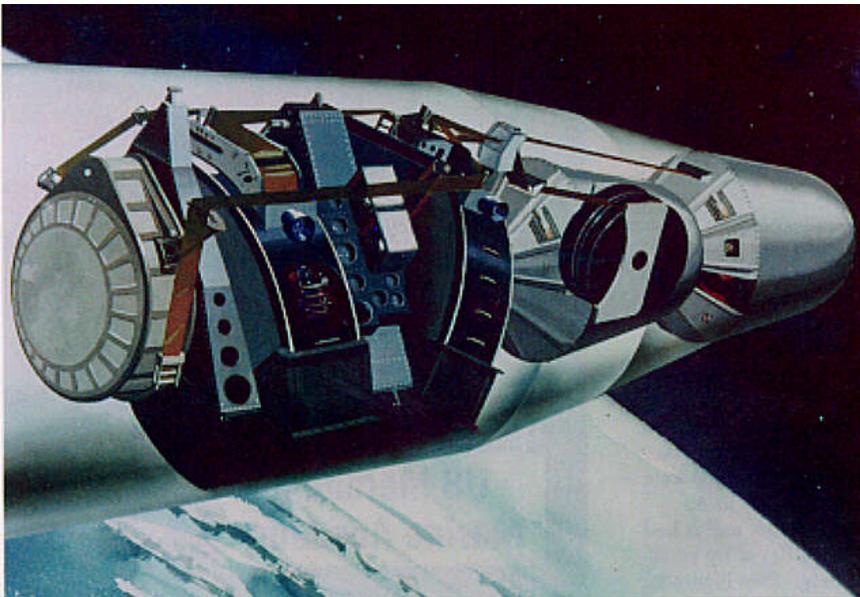
- ◆ **inducono a moltiplicare le forze d'attacco e i MIRV**
- ◆ **se efficaci, possono intercettare i missili del "second strike" vanificando la possibilità di rappresaglia**
- ◆ **forzano ad attaccare per primi per saturare le capacità difensive dell'ABM avversario e distruggere gran parte dei suoi missili.**

**Il proprio ABM diventa più efficace nell'intercettare le ridotte forze avversarie**

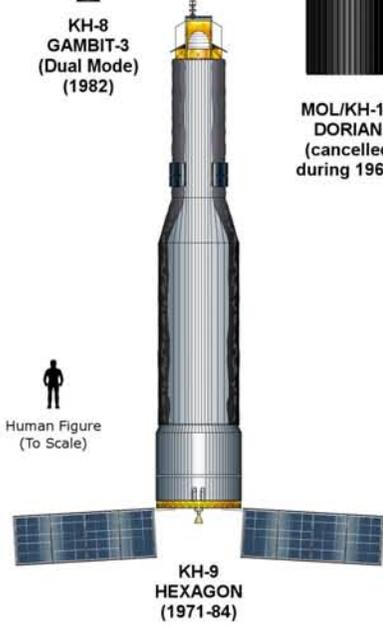
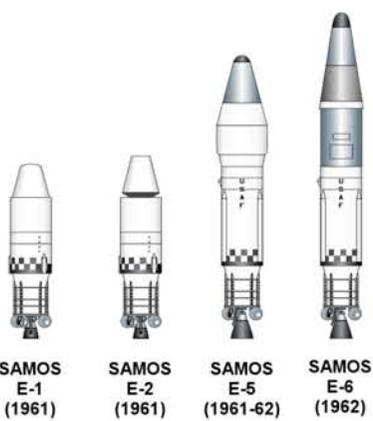
# militarizzazione dello spazio circumterrestre

le forze nucleari hanno condotto alla creazione costellazioni di satelliti orbitanti a supporto delle forze strategiche e tattiche

- spionaggio e sistemi di sorveglianza in tutte le bande
  - ▷ rilevazione di esplosioni nucleari, lancio e traiettoria di missili
- telecomunicazioni con i sommergibili nucleari, bombardieri e missili
- navigazione, per stabilire in tempo reale e con errori minimi la posizione e la velocità in qualunque punto del pianeta di aerei, missili e navi
- guida per sistemi ABM



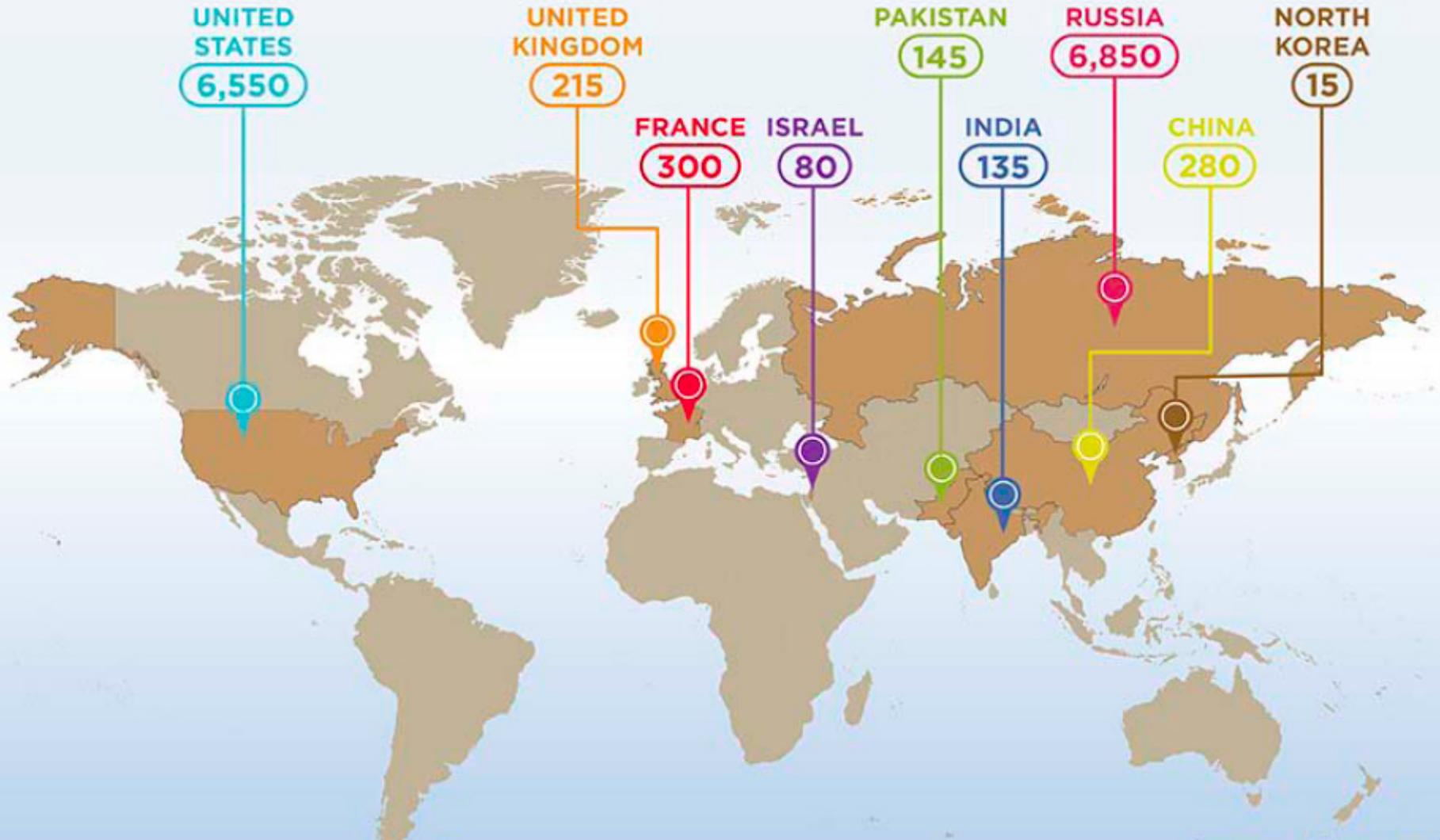
# U.S. Satellite Reconnaissance Systems



# **struttura degli arsenali nucleari attuali**

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

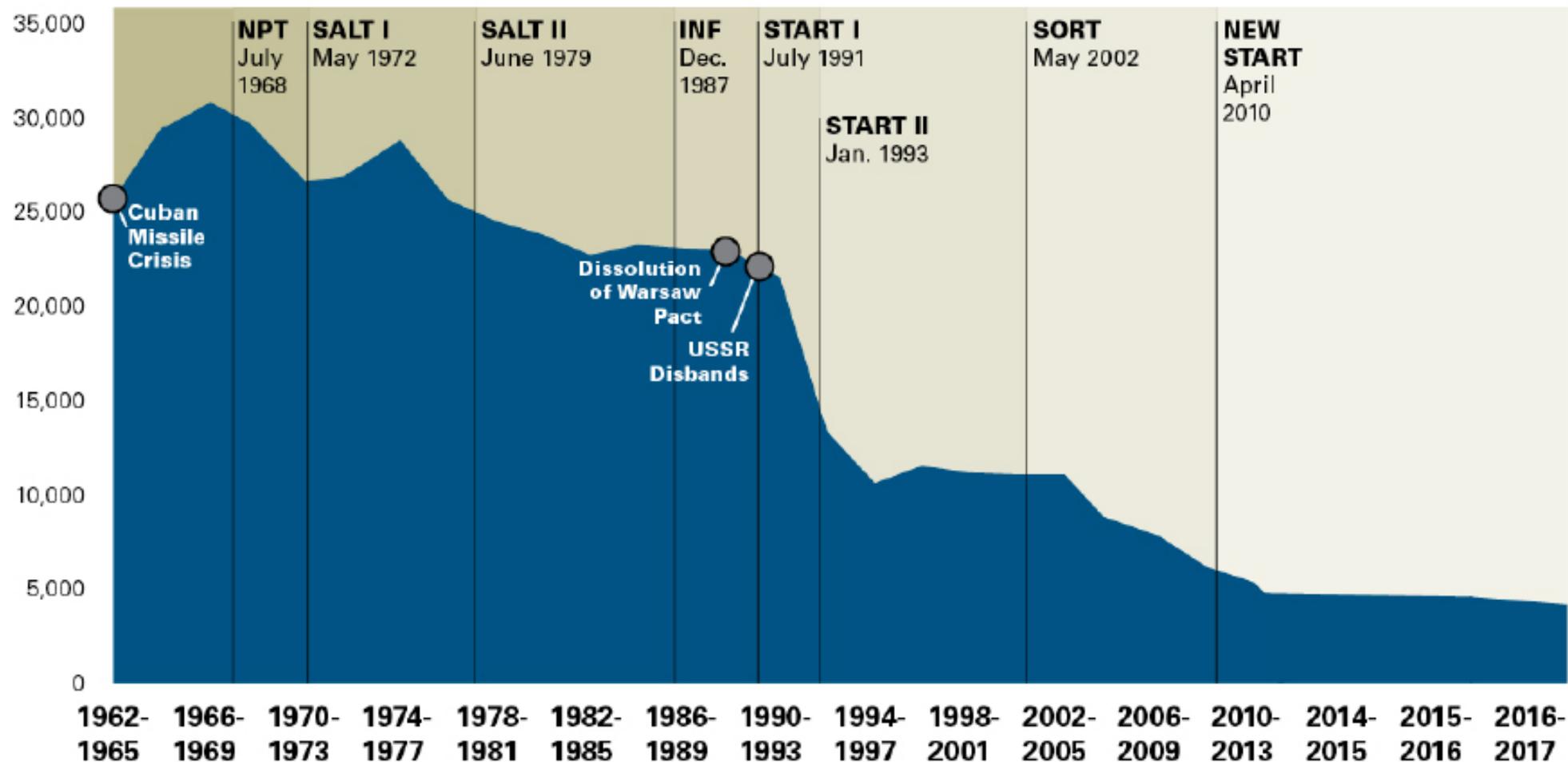
The world's nuclear-armed states possess a combined total of roughly 15,000 nuclear warheads; more than 90 percent belong to Russia and the United States. Approximately 9,600 warheads are in military service, with the rest awaiting dismantlement.



**consistenza numerica degli arsenali nucleari**

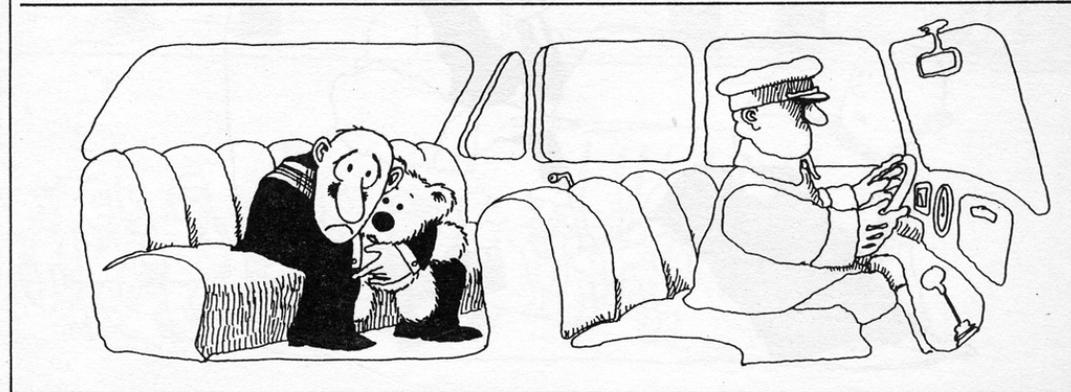
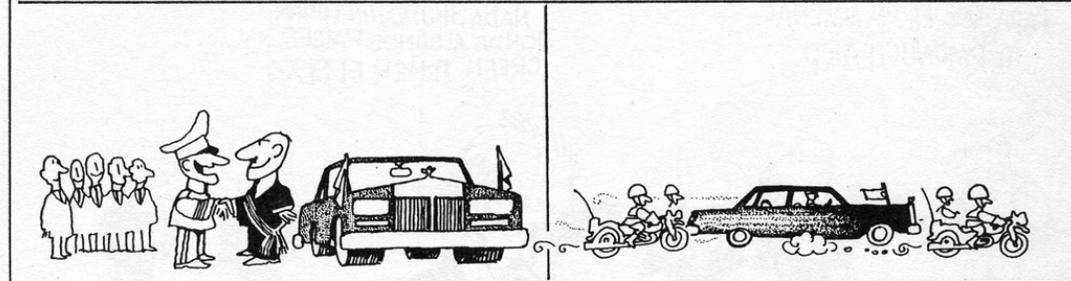
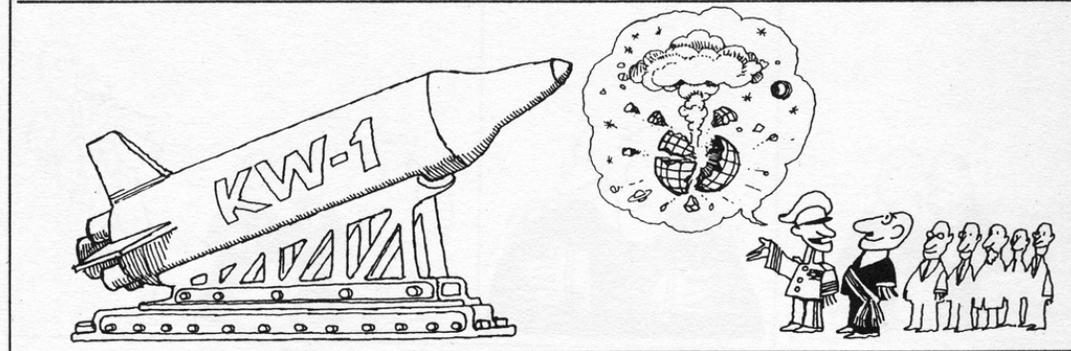
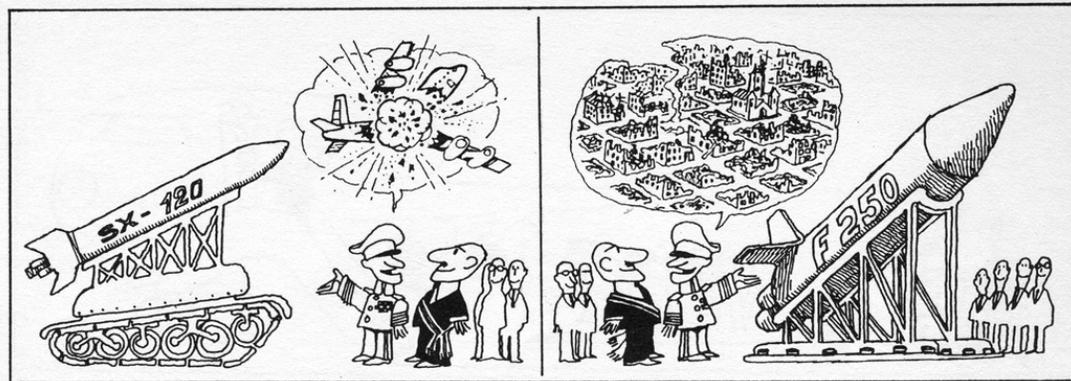
## U.S. Nuclear Weapons Stockpile, 1962-2017

Since the late-1960s, the United States and Russia have signed a series of nuclear arms treaties that have contributed to steep cuts in their active and inactive nuclear warhead stockpiles.



Sources: U.S. Department of State, U.S. Department of Defense, Arms Control Association. Updated: January 19, 2017.

# consistenza dell'arsenale nucleare americano



**armi più potenti per  
maggiore sicurezza...**

**si possono razionalizzare le armi nucleari?**



# razionalizzabilità delle armi nucleari

◆ *A nuclear weapon is not a weapon in the conventional semantic sense. It is not a rational means to a rational end. It is an instrument of unlimited, universal destruction, hence the threat or the actuality of a nuclear war is not a rational instrument of national policy because it is an instrument of suicide and genocide.*

Hans J. Morgenthau

◆ *the basic axioms of the nuclear age: the impossibility of defence; the hopeless vulnerability of the world major cities; the attraction of a sudden attack; and the necessity of a capability for retaliation*

Lawrence Freedman

# 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

# **esempi di strategia coercitiva**

- ◆ **5 settembre 1941 Churchill al Consiglio dei capi di stato maggiore: le armi nucleari per garantire a UK e USA di “policing and controlling the world”**
- ◆ **agosto 1945 bombardamento e minacce di ulteriori bombe nucleari per forzare la resa incondizionata del Giappone**
- ◆ **Londra 11 settembre-2 ottobre 1945 incontro dei ministri degli esteri dei paesi vincitori: il segretario di stato James Byrnes ricorre (invano) al monopolio atomico americano per influenzare la politica sovietica e per rafforzare la posizione negoziale americana**

# la minaccia di Truman

“We are now prepared **to obliterate more rapidly and completely** every productive enterprise the Japanese have above ground in any city.

We shall destroy their docks, their factories, and their communications.

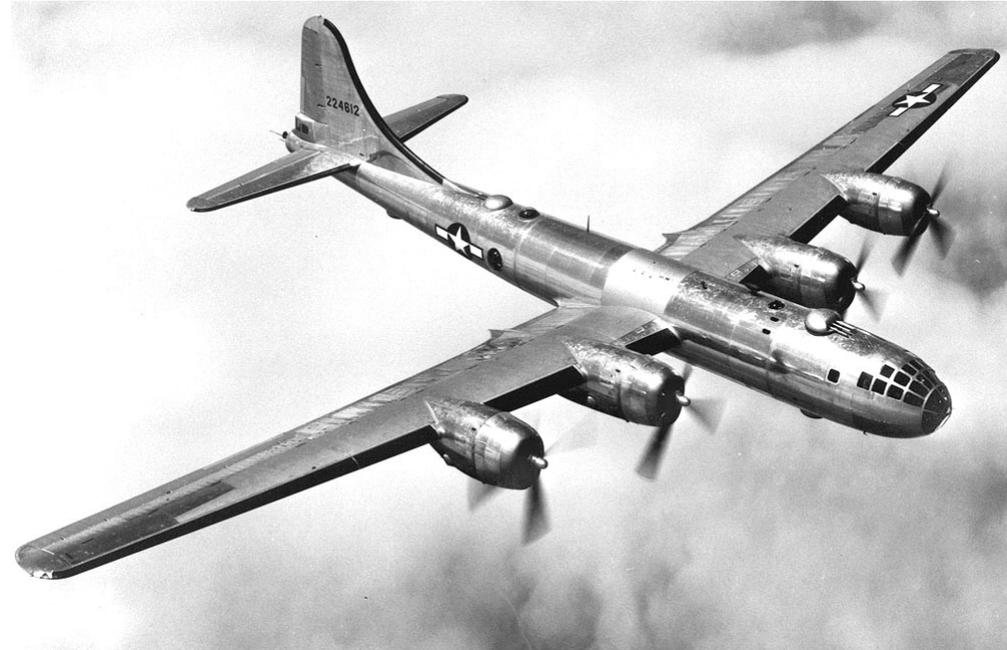
Let there be no mistake; **we shall completely destroy Japan's power** to make war... If they do not now accept our terms they may expect a rain of ruin from the air, the like of which has never been seen on this earth.”

**monopolio nucleare USA non spendibile  
militari americani suggerivano una guerra preventiva  
finalizzata a impedire la creazione della forza nucleare  
sovietica (anni '40)**

**impossibile per**

- ▷ **la mancanza di informazioni affidabili sull'URSS e le sue capacità e strutture atomiche**
- ▷ **la limitata efficienza delle forze aeree**
- ▷ **la scarsa forza operativa**

***unico vettore strategico  
disponibile negli anni '40: il B29***



# **esempi di strategia deterrente**

- ◆ **armi chimiche nella seconda guerra mondiale**
  - **diffida di Roosevelt al Giappone (6 giugno 1942) e ai paesi dell'asse (9 giugno 1943);**
  - **di Churchill contro l'uso tedesco in Russia (maggio 1942)**
- ◆ **mutua deterrenza nucleare nella crisi di Cuba (1962)**
- ◆ **“risposta flessibile NATO” al dispiegamento dei missili sovietici SS-20 nel teatro europeo (1981)**
- ◆ **programma nucleare della Corea del Nord**

# **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...**

# **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**

**deterrenza iper-ampliata:**

**2018 nuclear posture review of the USA**

***The United States would only consider the employment of nuclear weapons in extreme circumstances to defend the vital interests of the United States, its allies, and partners. Extreme circumstances could include significant non-nuclear strategic attacks. Significant non-nuclear strategic attacks include, but are not limited to, attacks on the U.S., allied, or partner civilian population or infrastructure, and attacks on U.S. or allied nuclear forces, their command and control, or warning and attack assessment capabilities.***

# **fallimento della deterrenza ampliata**

**paesi privi di armi nucleari hanno sfidato potenze nucleari:**

- ▷ **Corea del Nord e Cina contro USA (1950-54)**
- ▷ **Cina contro USA durante la crisi di Quemoy e Matsu (1954-55)**
- ▷ **Egitto contro Regno Unito (1956)**
- ▷ **Nord Vietnam contro USA (1955-75)**
- ▷ **Egitto e Siria contro Israele (1973)**
- ▷ **Vietnam contro la Cina (1979)**
- ▷ **Argentina contro Regno Unito (1982)**
- ▷ **Afganistan contro URSS**
- ▷ **Iraq contro Israele (1991)**
- ▷ **Iraq contro USA (1991 e 2003-11)**
- ▷ **Taiwan contro la Cina (1996)**
- ▷ **Afganistan contro USA (dal 2001)**
- ▷ **Georgia contro Russia (2008)**

# **problemi della deterrenza nucleare estesa**

## **◆ credibilità**

- ▷ degli alleati: “gli Stati Uniti sono pronti a rischiare New York o Detroit per salvare Amburgo o Lione?” (de Gaulle)**
- ▷ degli avversari: quanto la politica dell’URSS rispetto ai paesi della NATO era influenzata dall’“ombrello nucleare”?**
- ▷ degli USA: che ruolo gioca nelle relazioni con gli alleati?**

**◆ dilemma degli USA: il rischio di essere indotti a una guerra nucleare nell’interesse, o a causa, degli alleati**

**◆ dilemma degli alleati: il rischio di essere coinvolti in una guerra nucleare lanciata (o subita) dagli USA**

# **variazioni sul tema**

## **1. Minimun Deterrence**

**This means a capacity to destroy a few key cities with little if any counterforce capacity to attack a hostile nation's military forces. The effect of this level of deterrence would be to provide limited deterrence of a full-scale attack on the US population.**

## **2. Massive Urban/industrial Retaliation.**

**this posture is designed to destroy many cities, many millions of people and much productive capacity, and to do so on an assured second-strike basis. This level of deterrence, sometimes called "Assured Destruction", would concede to the Soviet Union the potential for a military victory if deterrence failed, but (it would be anticipated) would make any such victory worthless in political terms.**

### **3. Flexible Response.**

**In this form of deterrence the United States would have the capability of reacting to a Soviet counterforce attack without going immediately to a counter-city attack. It would thus increase the credibility of deterrence**

### **4. Denial of a Nuclear War-Winning Capability to the Other Side.**

**This means a nuclear posture such that, even if the other side attacked first and sought to destroy one's own strategic striking power, the result of such a counterforce exchange would be sufficiently even and inconclusive that the duel would be extremely unattractive to the other side**

# **la teoria razionale della deterrenza fissa le condizioni basiche per deterrere un avversario:**

- ▷ capacità effettive e dimostrate di rappresaglia**
- ▷ una minaccia chiaramente comunicata**
- ▷ una credibile volontà di portare a compimento la minaccia**
- ▷ la predisposizione a subire una rappresaglia**
- ▷ confronto fra competitori assolutamente razionali**

**in situazioni di incertezza sulle forze e la credibilità delle minacce dell'avversario può crearsi una situazione di auto-deterrenza**

# **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**

# **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**

# **programmi di modernizzazione**

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

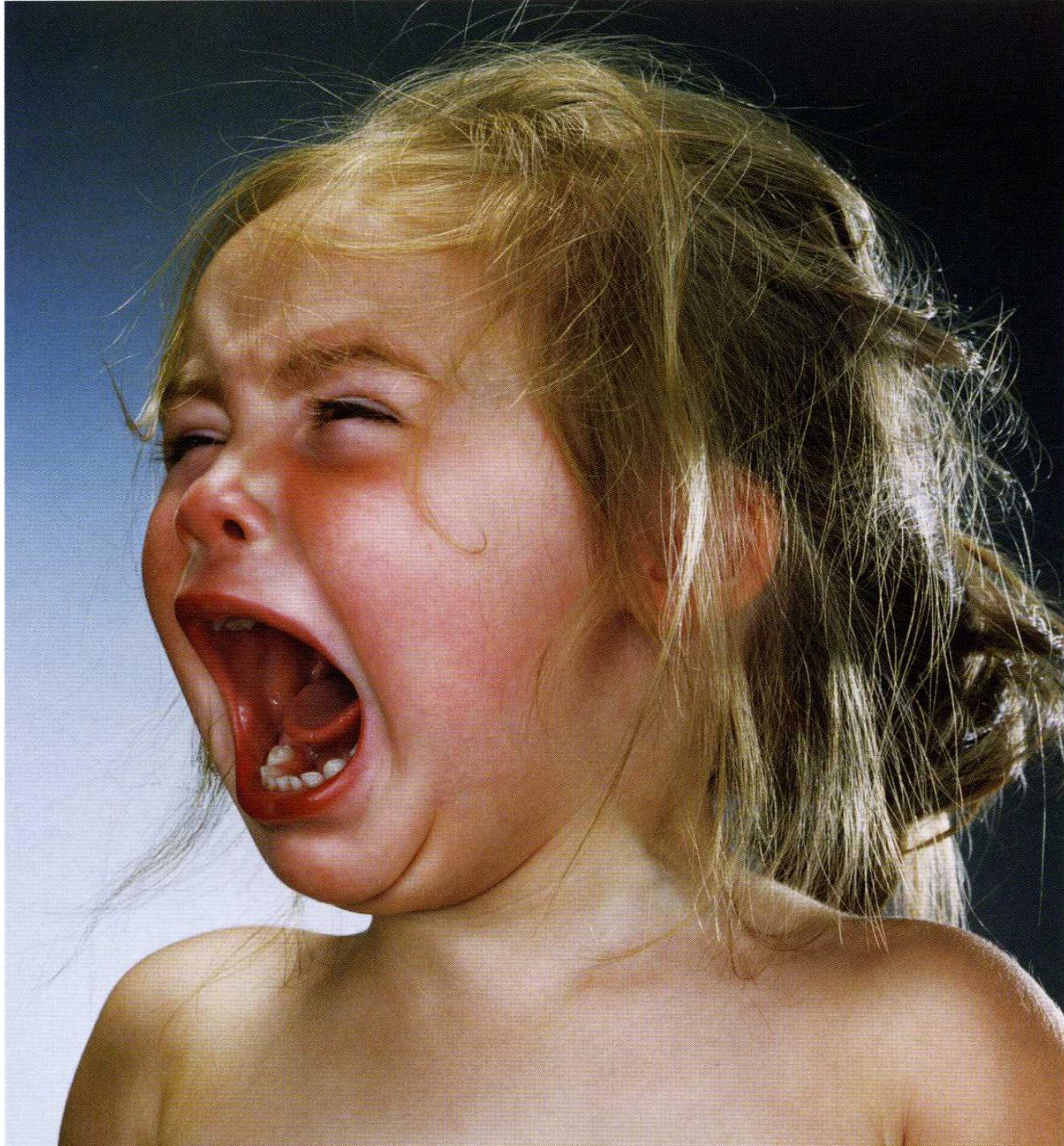
**Questi programmi minacciano di prolungare indefinitamente nel tempo l'era delle armi nucleari.**

# 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



Key: ALCM - Air-Launched Cruise Missile; GLCM - Ground-Launched Cruise Missile; ICBM - Intercontinental Ballistic Missile; IRBM - Intermediate Range Ballistic Missile; SLBM - Sea-Launched Ballistic Missile; SLCM - Sea-Launched Cruise Missile; SRBM - Short Range Ballistic Missile; SSBN - Nuclear-Powered Ballistic Missile Submarine; WH - warhead



# **rischi di proliferazione e terrorismo nucleare**

## **aspetti tecnici**

- **ripresa di programmi elettronucleari**
- **disponibilità di materiali fissili**
- **carenze nella sicurezza dei materiali fissili**
- **impianti di arricchimento dell'uranio**
- **impianti di separazione del plutonio**

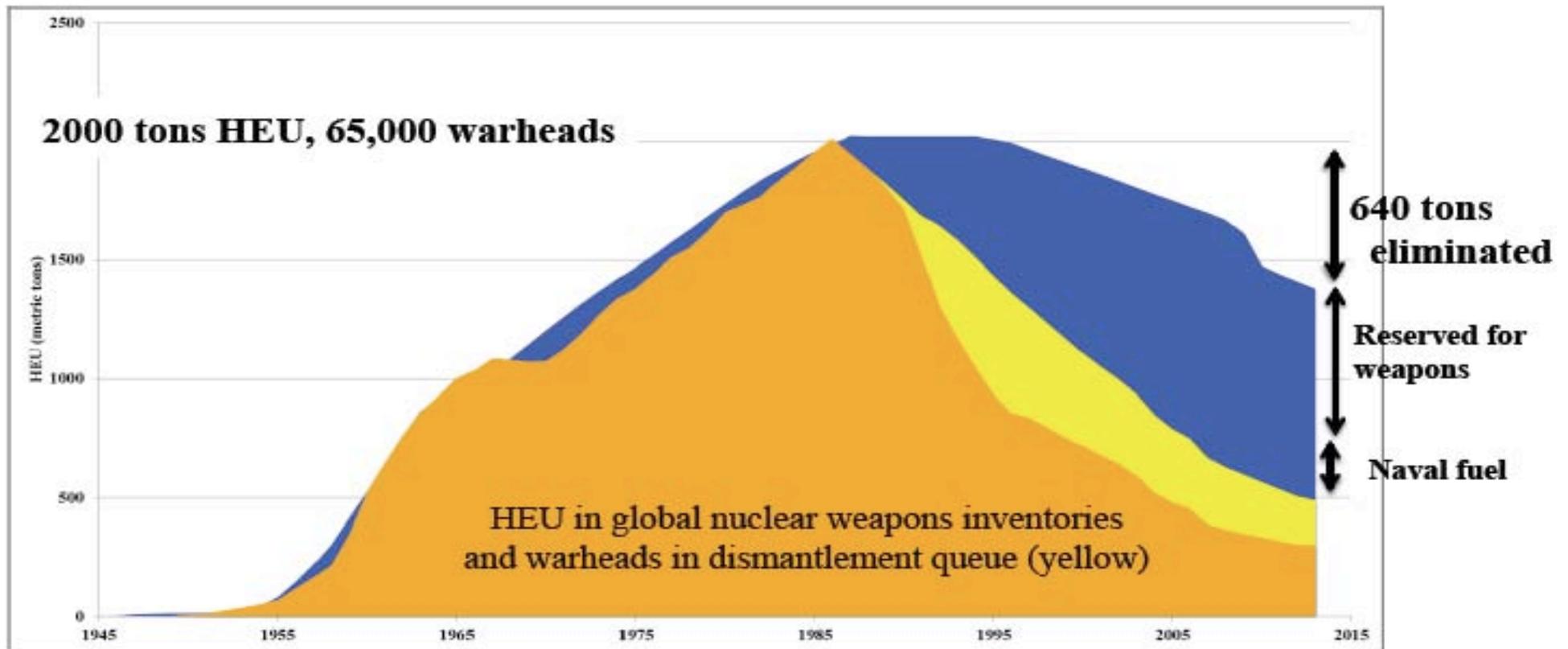
## **aspetti politici**

• • •

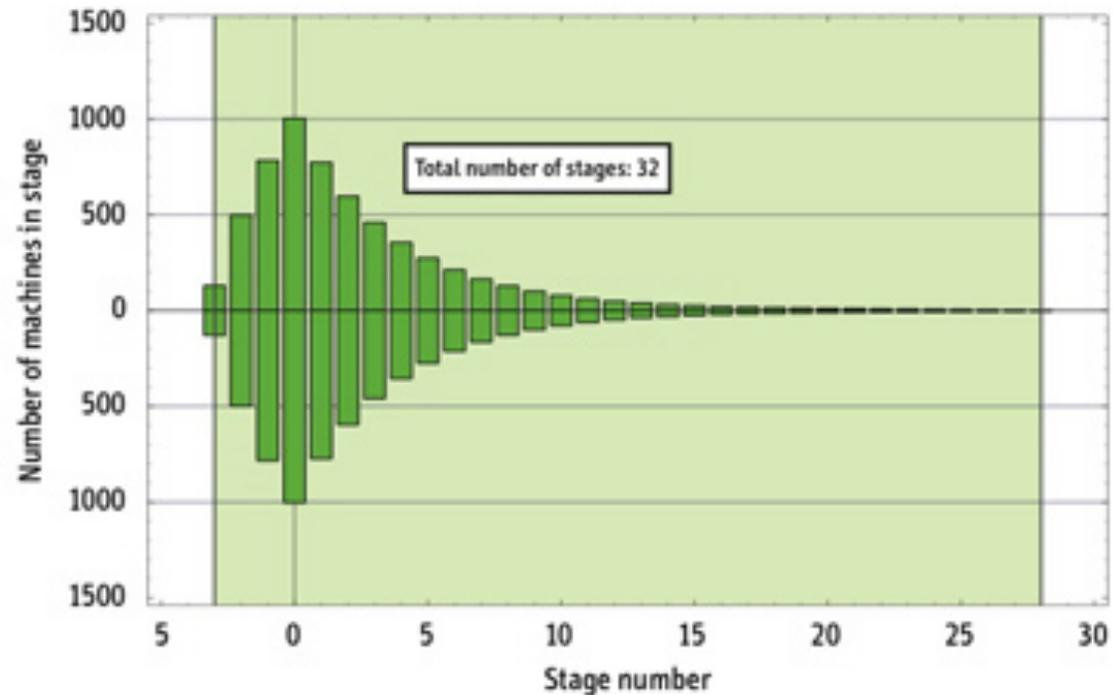
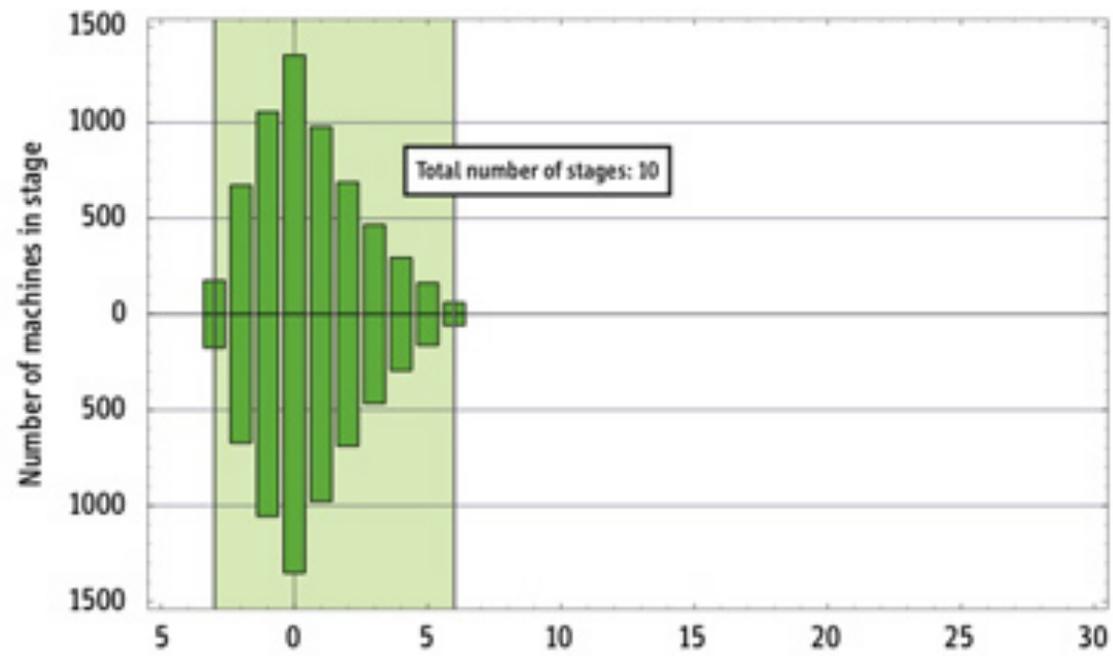
# **usi civili dell'HEU**

- **piastrine-bersaglio per la produzione di isotopi radiofarmaceutici, in particolare tecnezio-99m; altri isotopi medici prodotti con HEU sono iodio-131 e xeno-133**
- **combustibile per reattori veloci autofertilizzanti**
- **propulsione navale dei rompighiaccio e del trasporto artico russi**
- **assemblaggi critici quali prototipi di reattori, per esperimenti o calibrazione di codici neutronici**
- **combustibile per reattori di ricerca**

# produzione ed eliminazione di uranio altamente arricchito



**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%<br>(Tails at 0.20%) | 129,800 SWU     | 1 year |

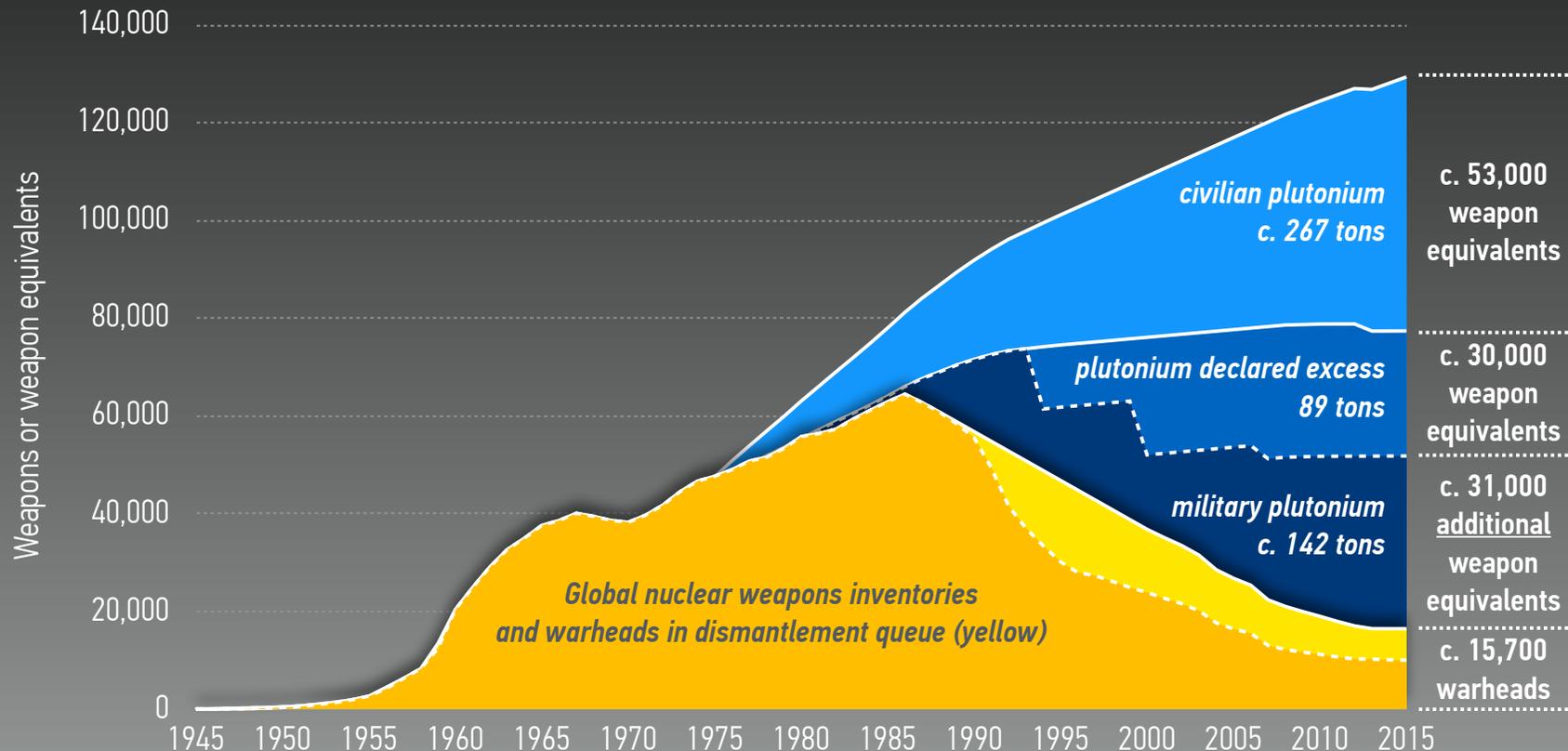
Material and separative work required to produce enough HEU for four bombs per year

| Feed       |                 | Product |                                | Separative Work | Time    |
|------------|-----------------|---------|--------------------------------|-----------------|---------|
| 150,000 kg | U(nat) at 0.71% | 820 kg  | HEU at 93%<br>(Tails at 0.20%) | 192,300 SWU     |         |
| 150,000 kg | U(nat) at 0.71% | 100 kg  | HEU at 93%<br>(Tails at 0.65%) | 14,200 SWU      | 40 days |
| 20,000 kg  | LEU at 4%       | 100 kg  | HEU at 93%<br>(Tails at 3.55%) | 2,800 SWU       | 8 days  |

# 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](http://fas.org), April 2015

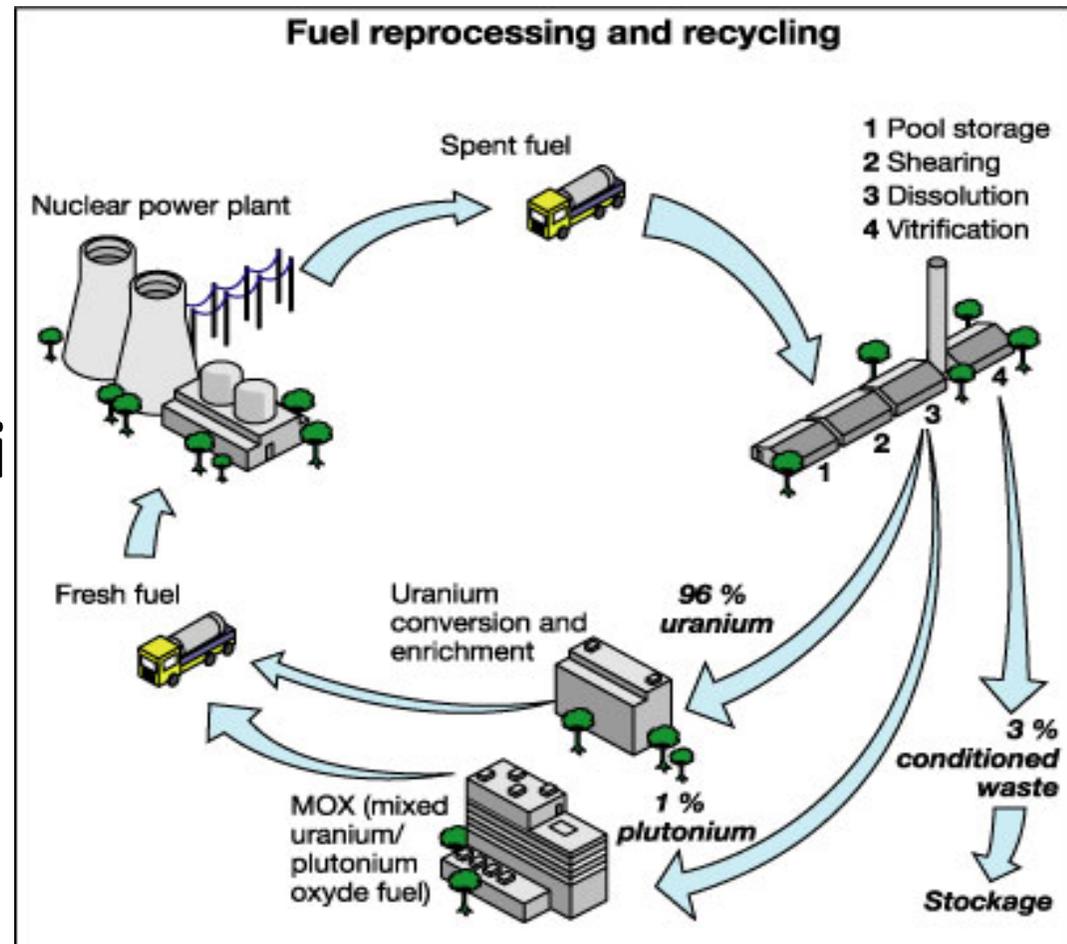
Fissile material estimates and weapon-equivalents are authors’ estimates; assumes an average of 3 kg for weapon-grade and 5 kg for reactor-grade plutonium per weapon

# 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



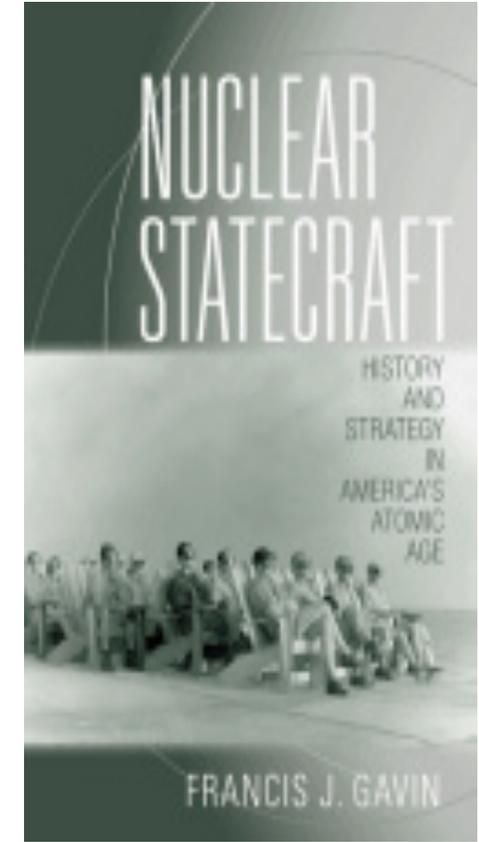
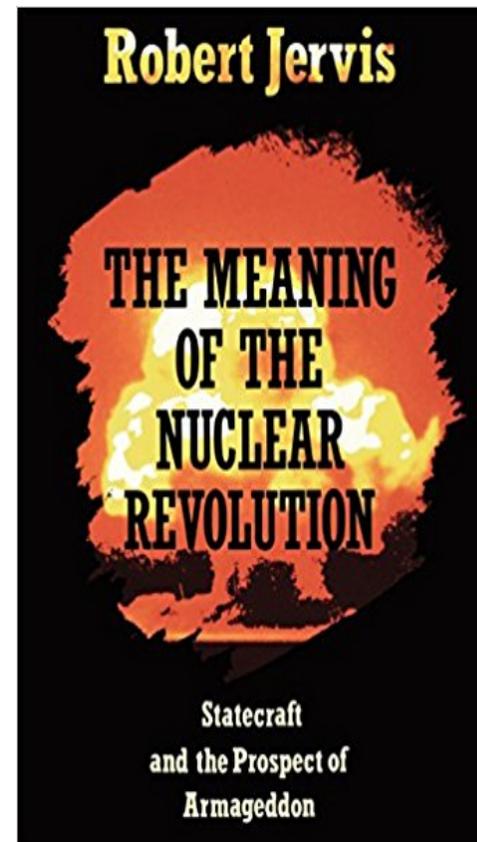
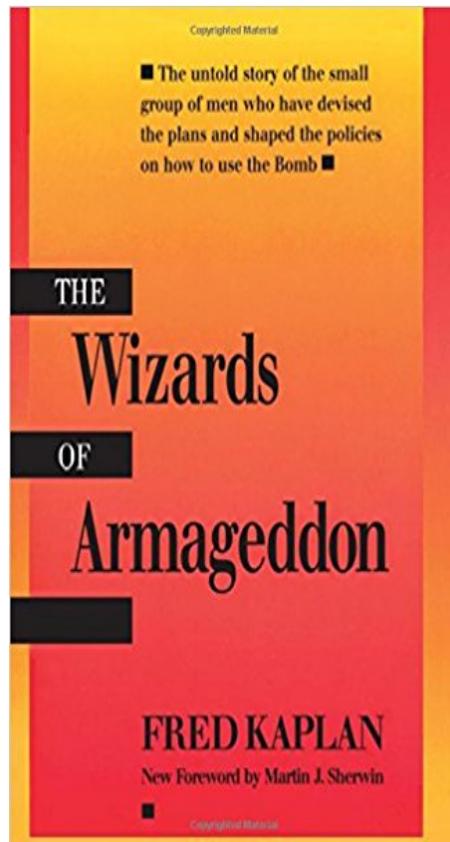
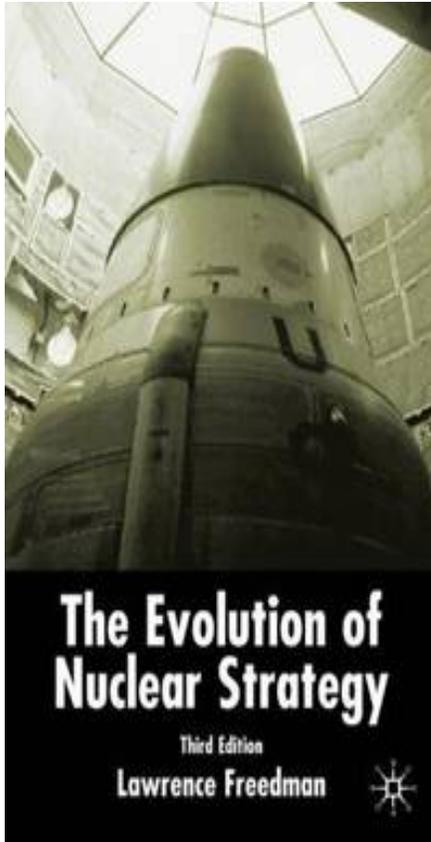
**il materiale fissile necessario per una bomba si misura in kilogrammi, mentre le scorte esistenti sono centinaia di tonnellate**

**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).

# suggerimenti per approfondire





**Alessandro Pascolini**

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