



Comitato
per una Civiltà dell'Amore

Comitato per una Civiltà dell'Amore

1° Corso della Scuola del Carmelo
4 E - Energia, Economia, Ecologia, Etica
Convento del Carmelo – Roma - 26 marzo 2021

Dall'atomo alla conversione nucleare

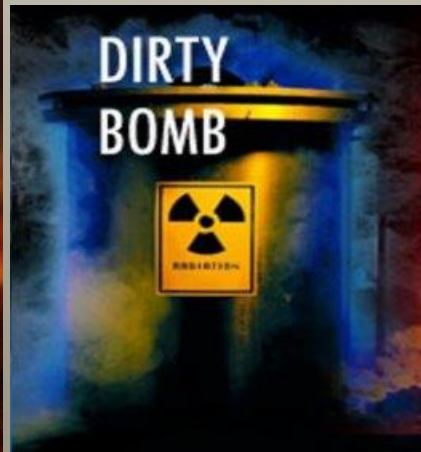
Massimo Sepielli (Esperto nucleare ed energetico)

Ing. Alessandra Di Pietro (Ordine degli Ingegneri di Roma)

in collaborazione con

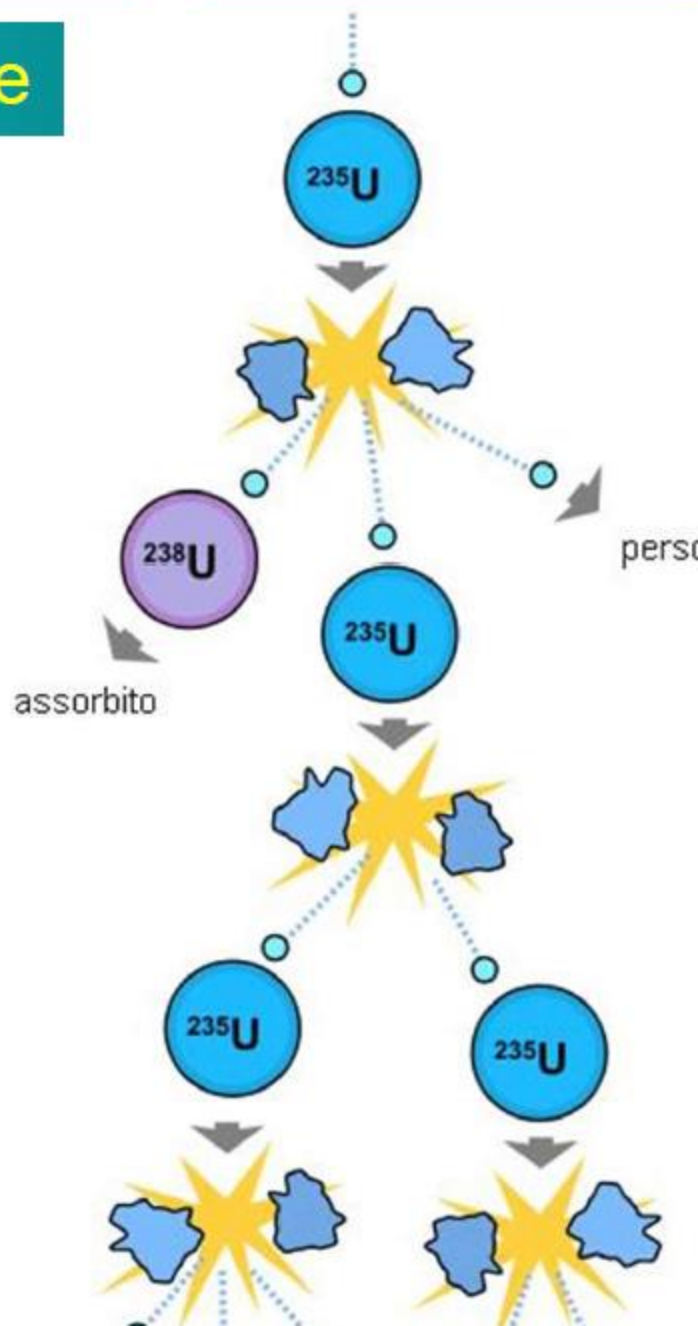
Flavio Parozzi, Franco Polidoro (Esperti CISE2007)

La fissione
Il ciclo nucleare
Testate atomiche
Bombe sporche
Centrali elettronucleari



la reazione di fissione nucleare

- l'unico nucleo atomico presente in natura che può dar luogo ad una reazione di fissione «a catena» è l'isotopo ^{235}U dell'uranio, che è solamente lo 0.7% di questo elemento (la rimanenza è l'isotopo 238)
- la reazione a catena è possibile anche con isotopi prodotti artificialmente come il plutonio-239



L'arricchimento dell'uranio



Per le centrali
elettronucleari



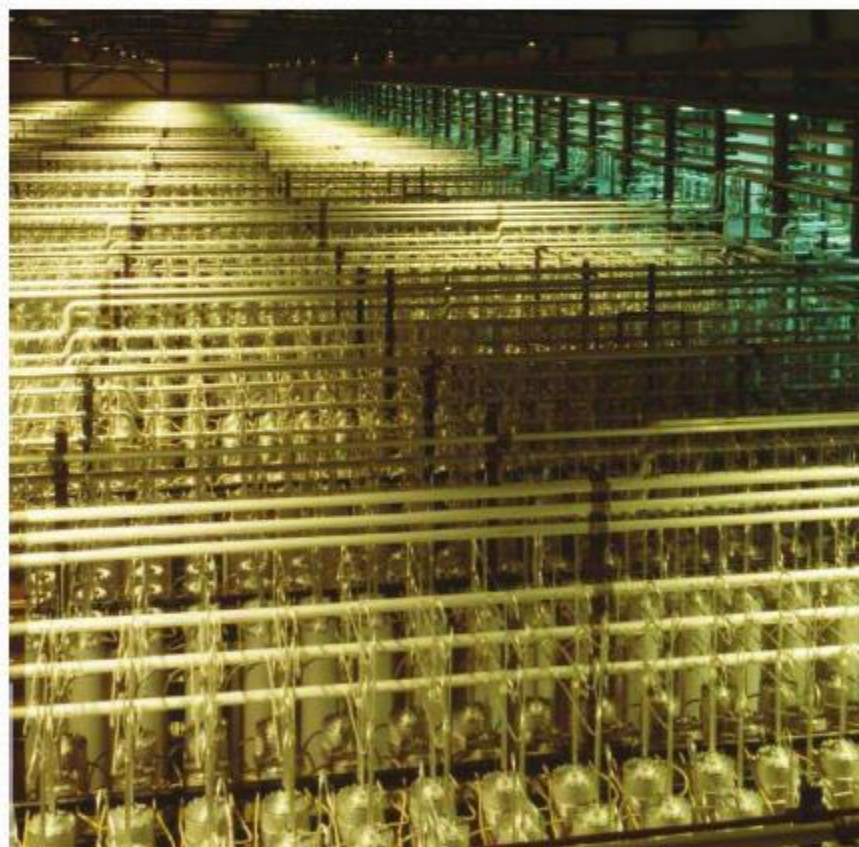
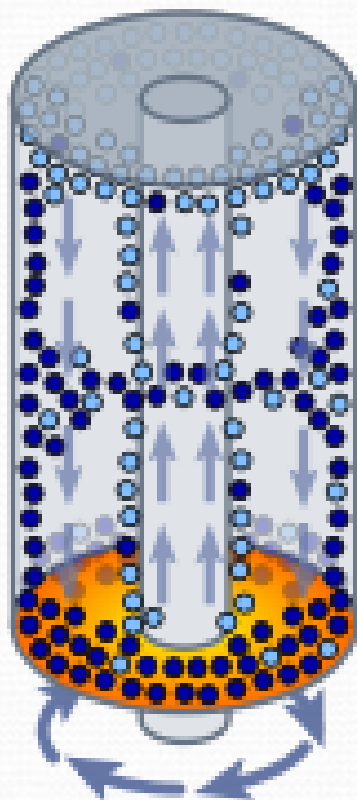
Per
la ricerca



Per gli
armamenti

l'esplosivo delle bombe

- per produrre uranio ad alto contenuto di isotopo 235 (arricchimento) impiegabile a fini militari sono necessari impianti molto complessi e costosi (es. speciali centrifughe in serie)



l'esplosivo delle bombe

- fissione di uranio altamente arricchito in isotopo 235
- fissione di plutonio-239
- fusione di isotopi di idrogeno innescata dalla fissione di uranio o plutonio



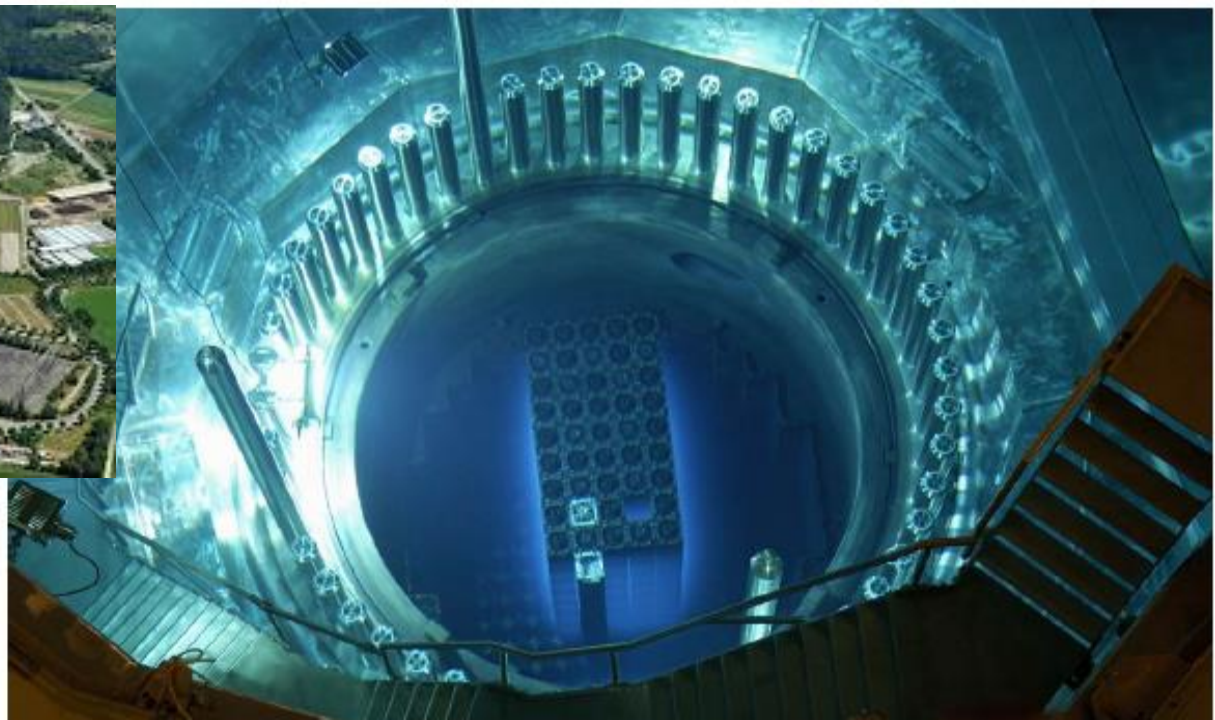
La bomba «sporca»

- La dirty bomb non c'entra nulla con la testata atomica
- E' invece un esplosivo chimico, tipo il tritolo, in cui si inseriscono sostanze radioattive per aumentare l'effetto di terrore
- La bomba sporca è più facile da realizzare «in casa» con tecnologia «povera»

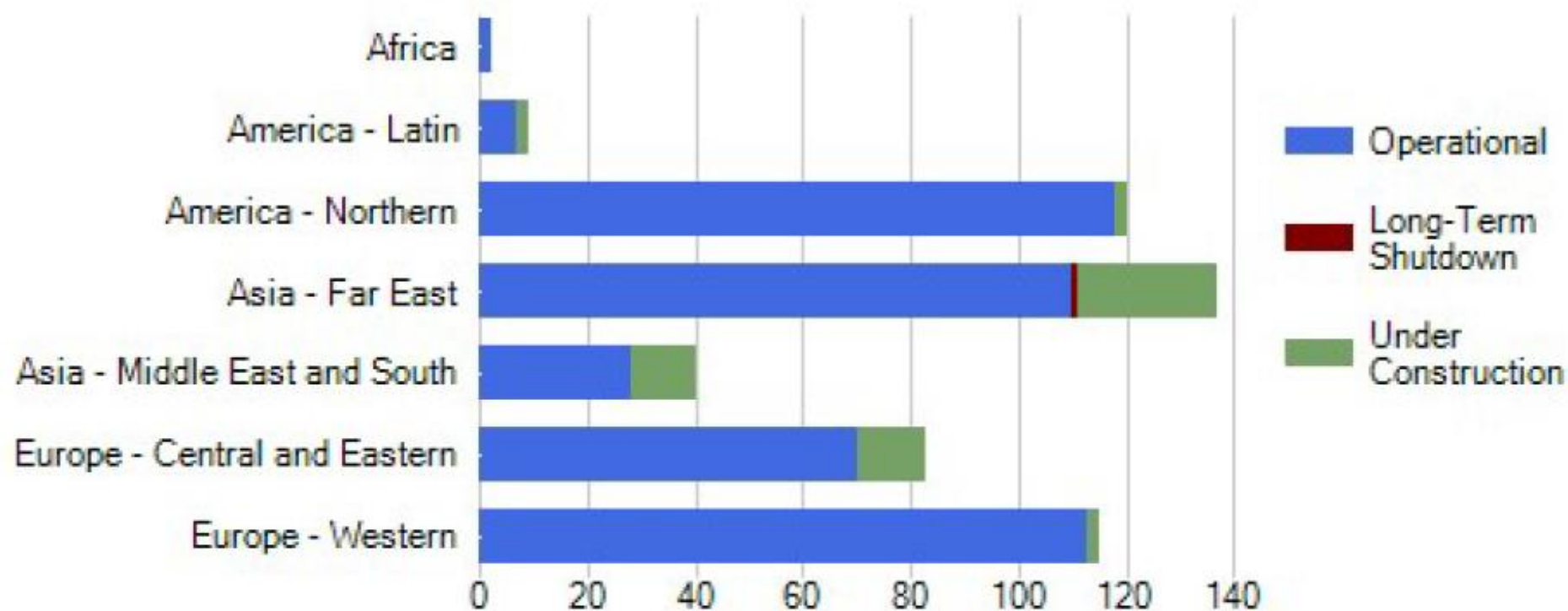


i reattori nucleari per la generazione elettrica

- negli attuali reattori commerciali il combustibile è solitamente costituito da uranio in forma di ossido (UO_2)
- negli ultimi anni è stato sperimentato con successo anche l'uso dell'ossido di plutonio (PuO_2)
- le centrali ben si prestano quindi per distruggere gli esplosivi nucleari ricavandone energia



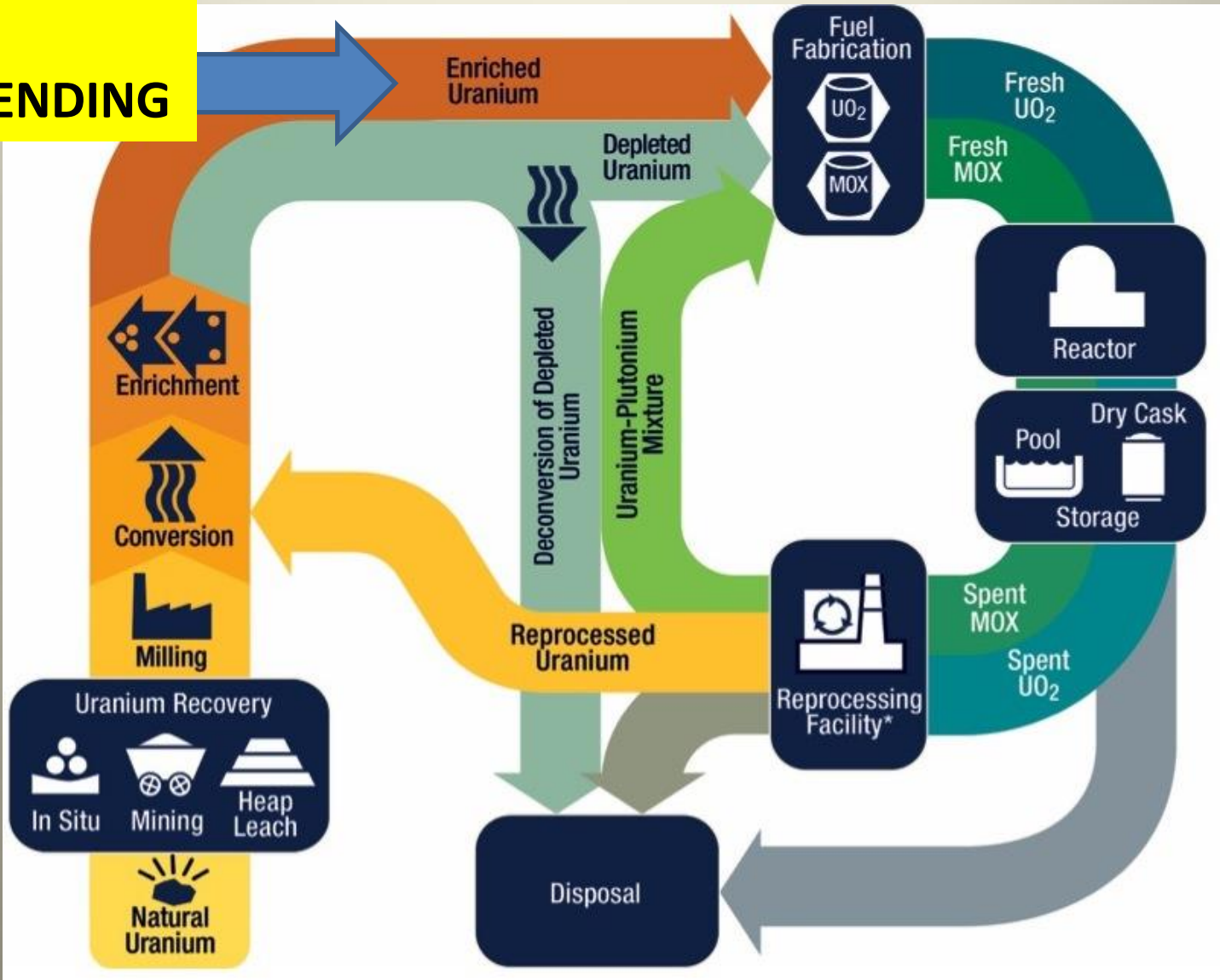
i reattori nucleari per la generazione elettrica



nel mondo sono in esercizio 448 reattori e 57 sono in costruzione

CICLO DEL COMBUSTIBILE

LEU – PU
DOWN BLENDING



nuclear fuel da testate nucleari in disarmo

- l'uranio-235 proveniente dallo smantellamento può essere diluito con uranio a basso arricchimento, fabbricando così del combustibile adatto alle centrali di generazione elettrica
- l'uranio così diluito non può essere facilmente utilizzato per nuove bombe se non riattivando il costoso e complicato processo di arricchimento
- anche il plutonio impiegato nelle testate può essere reso inutilizzabile a scopi militari, attraverso tecnologie più complesse, ma comunque già collaudate

L'analisi qui presentata vuole essere una prima stima dell'energia elettrica ricavabile dalla distruzione di un dato numero di testate caricate con uranio altamente arricchito

stima dell'energia ricavabile da testate caricate con uranio altamente arricchito (HEU)

- lotto di testate in disarmo: 4000
- HEU/testata: 20-25 kg al 90-93% di U^{235} (centinaia di kt TNT)
1 kt TNT = 4.184×10^{12} Joule

questi parametri indicano

- un *lower bound* di 80 ton di HEU al 90%
(72 ton di U^{235} + 8 ton di U^{238})
- un *upper bound* di 100 ton di HEU al 93%
(93 ton di U^{235} + 7 ton di U^{238})

dati di riferimento:

TradeTech (2011). Uranium Primer-Russian Highly Enriched Uranium (HEU) Agreement. Denver Tech Center, Englewood, CO (USA). www.uranium.info

Civiltà dell'Amore (2017). Dati di Progetto Conversione Nucleare in Korea.

stima dell'energia ricavabile ...

- secondo il presente studio, questo quantitativo consentirebbe la fabbricazione di una trentina di «cariche» di combustibile per reattori da 1000 MWe
- l'energia elettrica ricavabile in totale risulta dell'ordine dei 700-800 TWh, assumendo una *performance* del combustibile minimale (burn-up di circa 27 GWd/t) con un tipico arricchimento del 4%
- 900 TWh possono ritenersi un target ragionevole, o superabile, con prestazioni ottenibili nei nuovi tipi di impianto

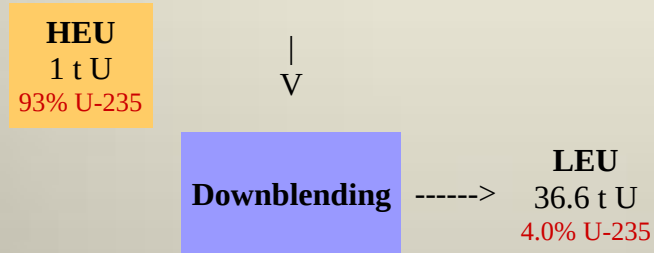


Calcolo diluizione



- $U\ 235 / U\ nat\ 1 = 93\ %$ (testata atomica militare)
- $U\ 235 / U\ nat\ 2 = 4\ %$ (combustibile usi civili)
- $U\ nat\ 2 / U\ nat\ 1 = 0.93 / 0.04 = 23,25$
- Da 1 Kg di testata atomica ricavo 23 Kg di combustibile per centrale elettrica
- Da 20 Kg (1 testata) ricavo 460 Kg , circa $\frac{1}{2}$ ton

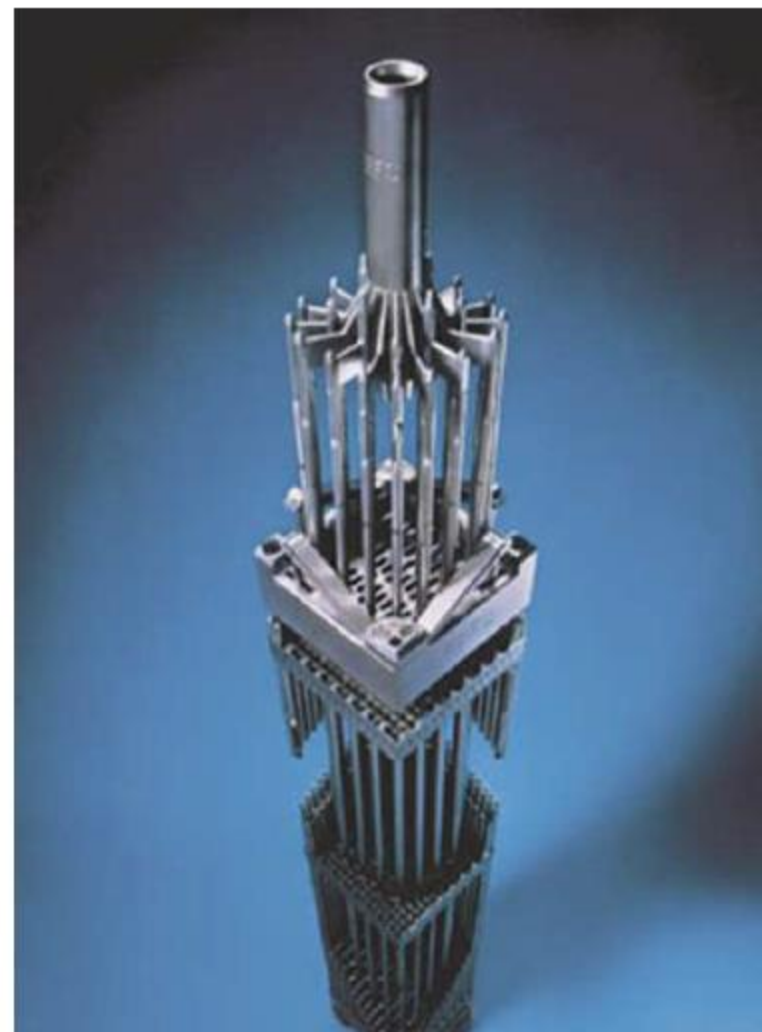
IMPIANTI DI CONVERSIONE (DOWNBLENDING)



stima dell'energia ricavabile ...

sono anche state verificate tre possibili diluizioni dell'HEU con uranio a bassa concentrazione di isotopo 235:

- con uranio naturale (in cui l'isotopo U^{235} è lo 0.72%)
- con uranio residuo del processo di arricchimento (0.2% di U^{235})
- con uranio recuperato dal ritrattamento del combustibile «usato» (1.2% di U^{235})



combustibile producibile con diversi gradi di arricchimento finale per le tre ipotesi di diluizione (tonnellate di UO_2)

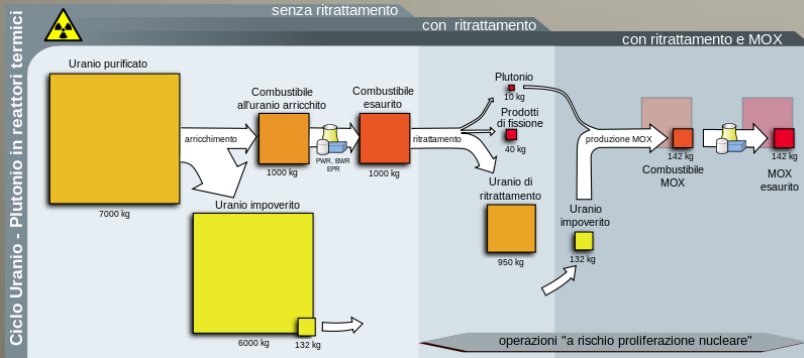
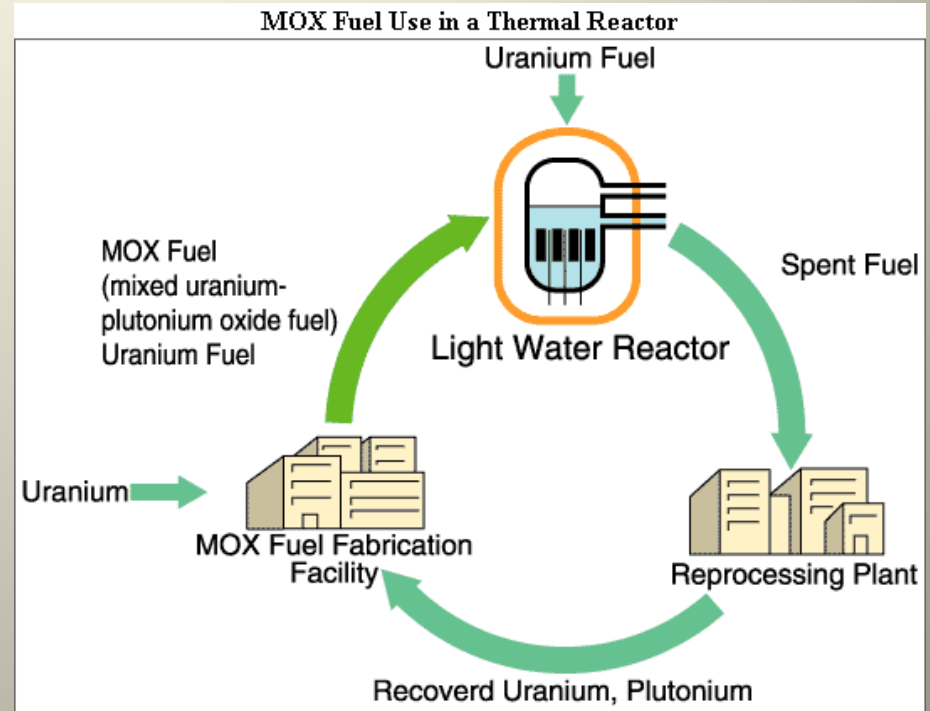
ARRICCHIMENTO UO_2 (%)	CASO DILUIZIONE CON U NATURALE (0.72% DI U^{235})	CASO DILUIZIONE CON URANIO ALLO 0.2% DI U^{235}	CASO DILUIZIONE CON URANIO AL 1.2% DI U^{235}
5.0	1900 – 2400	1600 – 2200	2100 – 2700
	1990 - 2490	1730 – 2230	2230 - 2880
4.5	1800 – 2800	1900 – 2400	2400 – 3200
	2210 - 2860	1920 - 2480	2480 - 3200
4.0	2500 – 3200	2100 – 2800	2900 – 3700
	2490 - 3210	2160 - 2790	2790 - 3600
3.5	2900 – 3800	2400 – 3200	3500 – 4500
	2840 - 3670	2470 - 3190	3180 - 4120

benché le tre soluzioni appaiano ragionevoli e percorribili, quella più attraente (ma solo sul piano della quantità di combustibile prodotto) risulta ovviamente quella ottenibile dalla diluizione con l'uranio scaricato dal processo di ritrattamento, se praticato

Arr. %	U ²³⁵ bruciabile (kg/t)	E termica (GWh/t)	Energia elettrica (GWh/t)	Energia elettrica producibile (TWh)
5	38	883,7 864,5	300,5 293,9	631,0 - 811,3 665,9 - 847,2
4,5	33	767,4 750,7	260,9 255,1	626,2 - 835,0 632,7 - 817,2
4	28	651,2 637,0	221,4 216,6	642,1 - 819,2 604,3 - 780,5
3,5	23	534,9 523,2	181,9 177,9	636,5 - 818,4 565,1 - 732,7

COMBUSTIBILE MOX ($\text{PuO}_2 + \text{UO}_2$)

- Brucia ossidi misti di Uranio e Plutonio
- Reattori di III e IV generazione
- Ricicla Pu derivante da testate atomiche militari



Risultati analisi generale

- l'analisi permette di confermare che, smantellando 4000 testate nucleari all'uranio altamente arricchito, è possibile produrre circa 3000 tonnellate di combustibile arricchito al 4% per impiego in centrali commerciali
- l'energia elettrica producibile con reattori convenzionali è dell'ordine dei 700-800 TWh
- può raggiungere realisticamente, o superare, i 900 TWh con tecnologie del combustibile già disponibili
- l'eliminazione del plutonio-239 è più delicata perché la sua diluizione deve avvenire con altri isotopi non disponibili in natura, che sono radioattivi e tali da ostacolare l'impiego nella fabbricazione di bombe

***Applicazione della conversione
alle testate atomiche
esistenti e potenziali***

Megatons to Megawatts



IL PROGRAMMA M2M

MEGATONS TO MEGAWATTS

- ACCORDO RAGGIUNTO NEL 1993 FRA USA E FEDERAZIONE RUSSA
- IL DOE AMERICA E I SUOI LABORATORI ED IMPRESE ASSOCIATE
- LA RUSSA TENEX PER IL MINISTERO DELL'ENERGIA ATOMICA
- **SOTTO GLI AUSPICI DELLA SANTA SEDE (PAPA GIOVANNI PAOLO II E PAPA BENEDETTO XVI) E DEL COMITATO PER UNA CIVILTÀ DELL'AMORE**
- FINO AL 2013 **20000** TESTATE ATOMICHE RUSSE E AMERICANE SMANTELLATE E **15000** TON DI LEU PRODOTTI
- USA HA PAGATO IL COSTO EQUIVALENTE DELL'ARRICCHIMENTO DA U NAT. A LEU (12 MILIARDI DI \$) E HA RESO DISPONIBILE ALLA RUSSIA U NAT. CORRISPONDENTE A QUANTO OCCORRENTE PER LA PRODUZIONE DI LEU (5 MILIARDI DI \$)
- CONTROLLO RECIPROCO CON ISPEZIONI SISTEMATICHE
- 15000 TONNELLATE HANNO ALIMENTATO **500** NOCCIOLI DI REATTORI (30 TON OGNUNO = 1/3 DI NOCCIOLO) DI REATTORE NUCLEARE DA 1000 MWe PER UN FUNZIONAMENTO DI 1.5 ANNI CON ARRICCHIMENTO AL 4.4 %
- PERTANTO 20000 BOMBE, HANNO ALIMENTATO 500 IMPIANTI DA 1000 Mwe PER 1.5 ANNI, GENERANDO **6500 MILIARDI DI KWh DI ENERGIA ELETTRICA USO CIVILE**

Disposition of Surplus HEU through Downblending and Purification for Placement in the Nuclear Fuel Cycle

**Michael A. Rush
Nuclear Fuel Services, Inc.**

**AIChE November 2008 Annual Meeting
Philadelphia, PA**

Disclaimer - The opinions expressed by the author of this paper are his own and do not necessarily reflect the opinions of Nuclear Fuel Services, Inc.



the smart alternative

Downblending Economics

- Downblended U as a commercial reactor fuel saves hundreds of millions of \$ when compared to conventional means.
 - SRNS made 252 MTU of LEU from BLEU Project HEU
 - NFS has made > 225 MTU of LEU from BLEU Project HEU
 - NFS has made > 30 MTU of LEU from RFS Program HEU

“Megatons to Megawatts”

Summary

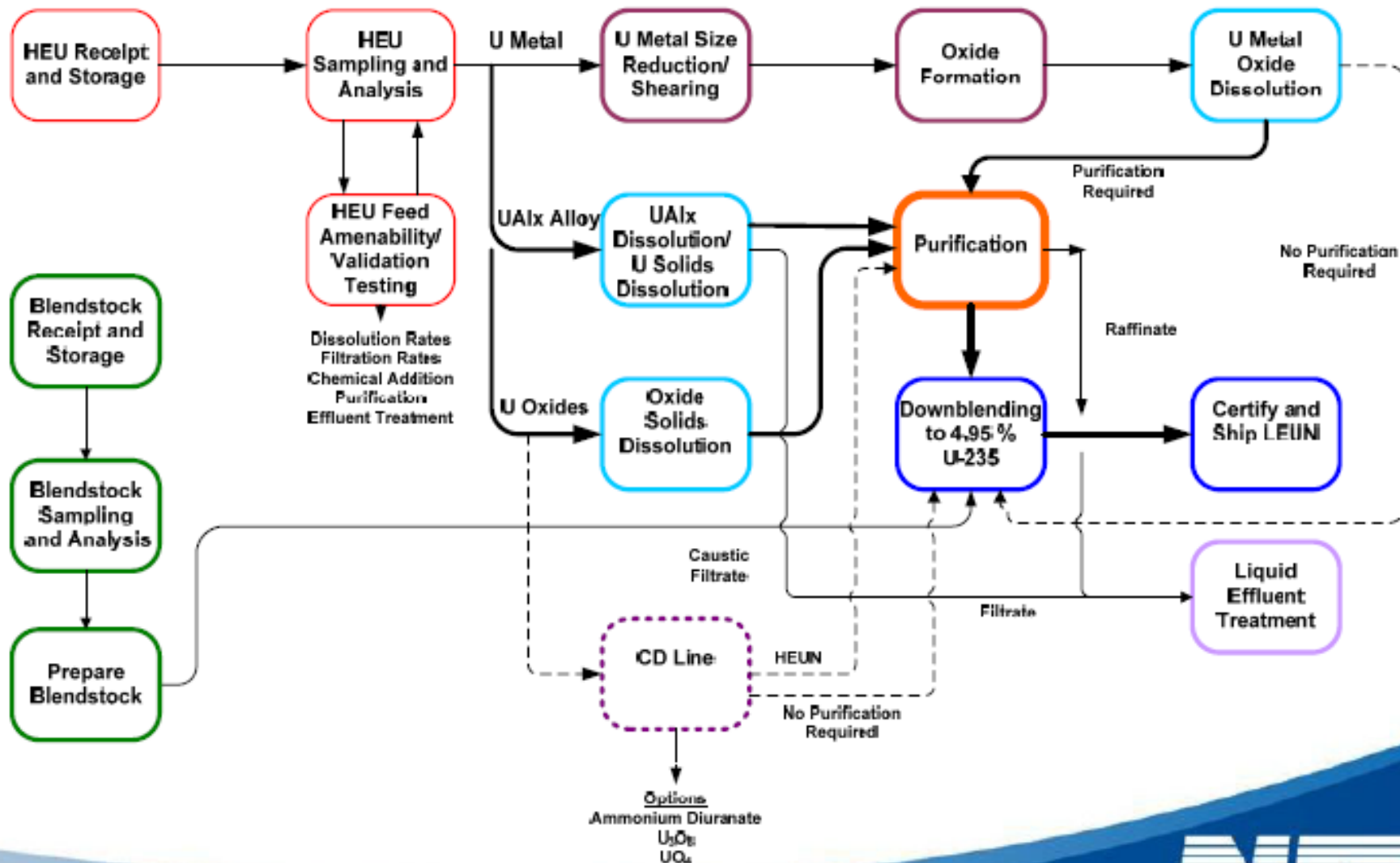
- Over 500 MT of 4.95% enriched LEU has been produced via downblending HEU from the BLEU Project and RFS Program
- This LEU product has produced savings of several hundred million \$ for commercial nuclear fuel users
- CD-Line adds new processing capabilities for the nuclear industry
- NFS can handle a variety of HEU feeds, including: metal, U/Al alloy, U oxides, U fluorides, plates, rods, etc.
- NFS stands ready to assist the industry with downblending and disposition of stranded materials.



NUCLEAR FUEL SERVICES, INC.

the smart alternative

HEU Recovery Flowsheet



Typical RFS HEU Metal Feed



HEU Slug Castings



HEU Broken Metal

NFS
7

NUCLEAR FUEL SERVICES, INC.

the smart alternative

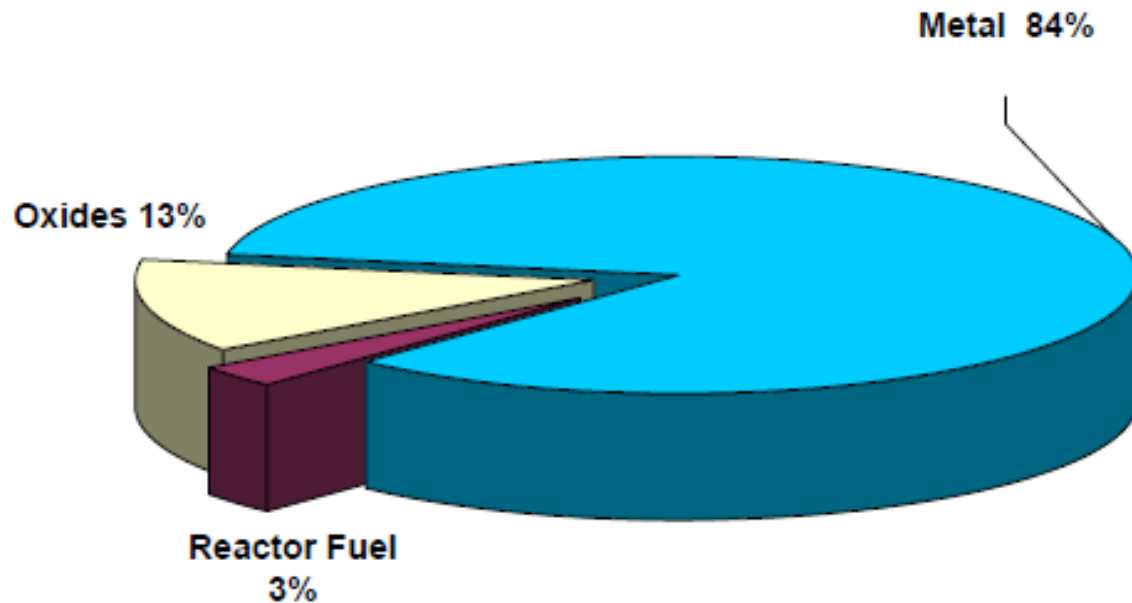
CD-Line

The NFS CD-Line will come of line in early 2009. The skid-mounted process line equipment has been fabricated and tested and most of the equipment is on site awaiting installation, testing and operational readiness reviews.



The CD-Line is a logical extension of NFS' focus of providing turn key storage, processing and dispositioning of "Stranded" Materials, including downblending of proper materials for reuse.

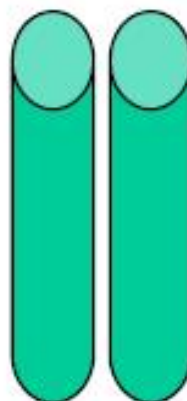
Reliable Fuel Supply (RFS) Program – 17 MT HEU



CD-Line HEUF₆ Flowsheet



Vaporize
 $\text{UF}_6(\text{s})$ to $\text{UF}_6(\text{g})$



UO_2F_2 Receiving
Columns

HEU Oxide

Y-12



NH_4OH



ADU Precipitation

HEUN

BPF
SX



NFS

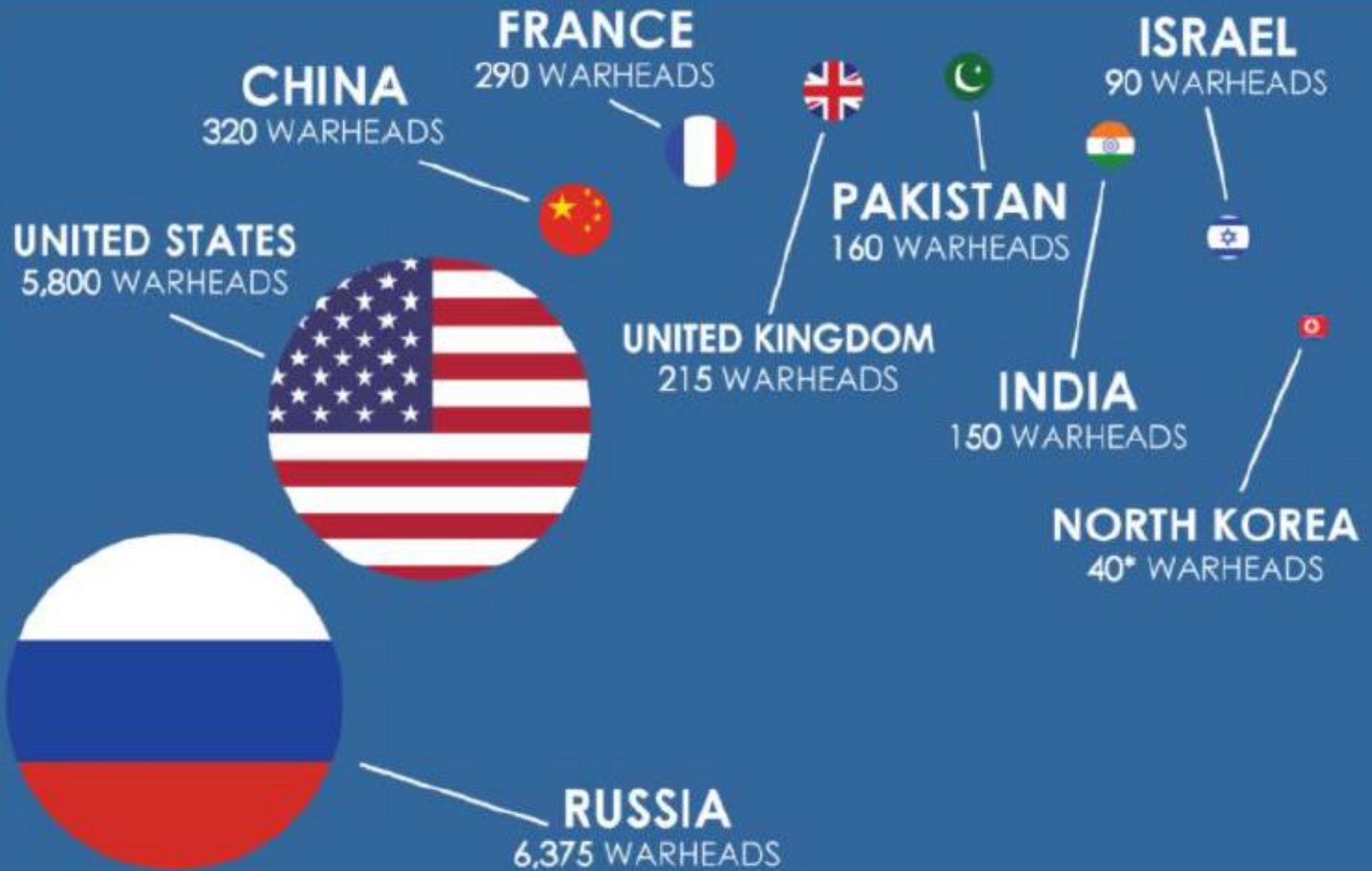
NUCLEAR FUEL SERVICES, INC.

the smart alternative

IL FUTURO DEL PROGRAMMA MEGATON TO MEGAWATT

- **ESISTONO ANCORA CIRCA 15.000 TESTATE NUCLEARI OPERATIVE**
- **ESISTONO INOLTRE 1300 TON DI LEU POTENZIALMENTE ALIMENTEREBBERO ALTRE 50000 TESTATE**
- **INOLTRE ESISTONO 500 TON DI PU PIU' DIFFICILE DA ELIMINARE (NON SI DILUISCE MA SI USA TAL QUALE NEI REATTORI MODERNI IN FORMA DI COMBUSTIBILI MOX, OSSIDI MISTI DI URANIO E PLUTONIO**
- **LA MAGGIOR PARTE USA RUSSIA E LE ALLEANZE DI PAESI CON ACCORDI DI DIFESA (NATO, EX PATTO DI VARSAVIA)**
- **SMANTELLANDOLE SI POSSONO OTTENERE RISULTATI ANALOGHI A QUELLI GIA' OTTENUTI IN PRECEDENZA**
- **OLTRE ALLE TESTATE OPOERATIVE, ESISTE NEL MONDO UN QUANTITATIVO DI MATERIALE FISSILE PARI A 1300 TON DI HEU PER REALIZZARE ANCORA ALTRE 50000 TESTATE**
- **SU QUESTE ESISTONO DIVERSI PROGRAMMI INTERNAZIONALI DI TRASFORMAZIONE DA HEU A LEU**

DIMENSIONE COMPARATA ARSENALI NUCLEARI



*This number reflects the highest number in an estimated range
(Data: SIPRI 2020 Yearbook)

STIMA TESTATE NUCLEARI NEL MONDO



Tot. 13.400

NON SIAMO SOLI



- ❑ **DESARMAMENT TREATY (52 Paesi)**
- ❑ **ONU IAEA SAFEGUARDS, OCSE NEA**
- ❑ **IFNEC (International framework for nuclear Energy)**
- ❑ **CTBTO (Comprehensive Nuclear Ban Test Treaty)**
- ❑ **Reduced Enrichment for Research and Test Reactors (RERTR) Programme** – gestito da US Department of Energy e supportato da IAEA – che ha lavorato per sviluppare la tecnologia necessaria per consentire la conversione delle installazioni civili che usano LEU in HEU, resistente alla proliferazione. I
- ❑ **Global Threat Reduction Initiative (GTRI) - DOE US LABORATORIES** operante dal 2004 sotto l'egida di IAEA e US Secretary of Energy's, che mira alla minimizzazione del materiale nucleare disponibile per la fabbricazione di armi atomiche.



Considerazioni energetiche,

**economiche
ecologiche
etiche**

sulla conversione

ASPETTO ETICO

- Eliminazione guerra nucleare
- Energia elettrica per sviluppo dei popoli
- Il risparmio dato per microprogetti per la fame nel mondo



Comitato
per una Civiltà dell'Amore

Comitato per una Civiltà dell'Amore

ASPETTO ECONOMICO



- ✓ SI EVITA ACQUISTO DI NUOVO COMBUSTIBILE ARRICCHITO (2000 €/KG) O EQUIVALENTE URANIO NATURALE (100 \$/KG) E SUO ARRICCHIMENTO
- ✓ SI OTTIENE UN RICAVO DALLA VENDITA DI ENERGIA ELETTRICA (75 €/MWH)
- ✓ OVVIAMENTE SI AGGIUNGE IL COSTO DELLA CONVERSIONE DOWNBLENDING (500 \$/KG FUEL 4%)
- ✓ SI STIMA CHE OGNI TESTATA NUCLEARE CONVERTITA IN COMBUSTIBILE PER CENTRALE DA 1000 MWE GENERI UN RICAVO DI 50 K€
- ✓ PER 15000 TESTATE SI ARRIVEREBBE A 100 REATTORI DA 30 TON CONVERTITO A REATTORE
- ✓ 800 M€ DISPONIBILI PER PROGETTI DI PACE

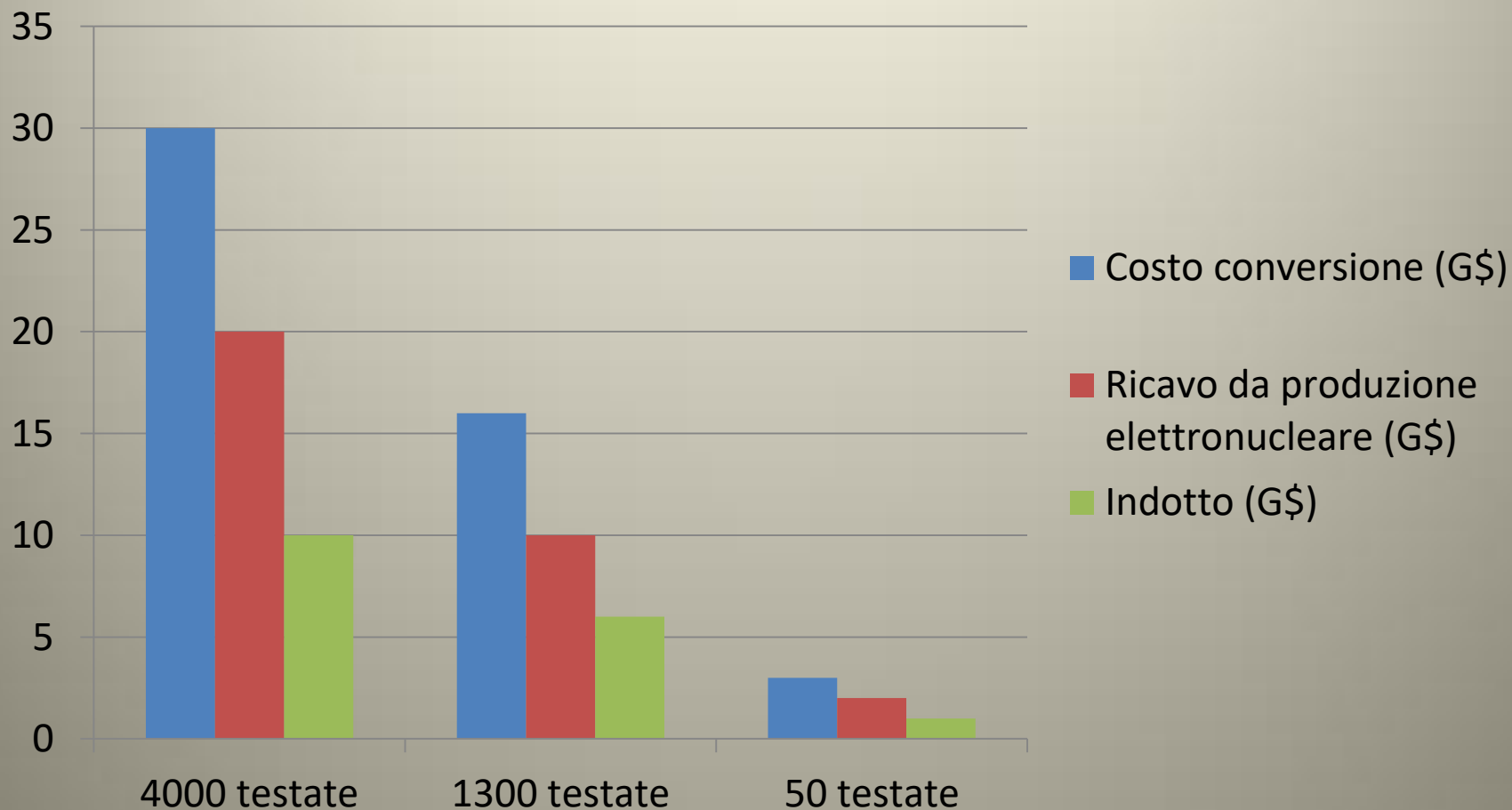
ASPETTO ECOLOGICO: Risparmio di CO2



- ✓ **SI EVITA DI ESTRARRE URANIO IN MINIERA PER 10000 TONS DI NUOVO COMBUSTIBILE NUCLEARE**
- ✓ **SI EVITA DI IMMETTERE IN ATMOSFERA L'EQUIVALENTE 3 MILIARDI di Ton CO2 CHE DERIVEREBBERO DA FONTE FOSSILE**

ASPETTO ECONOMICO

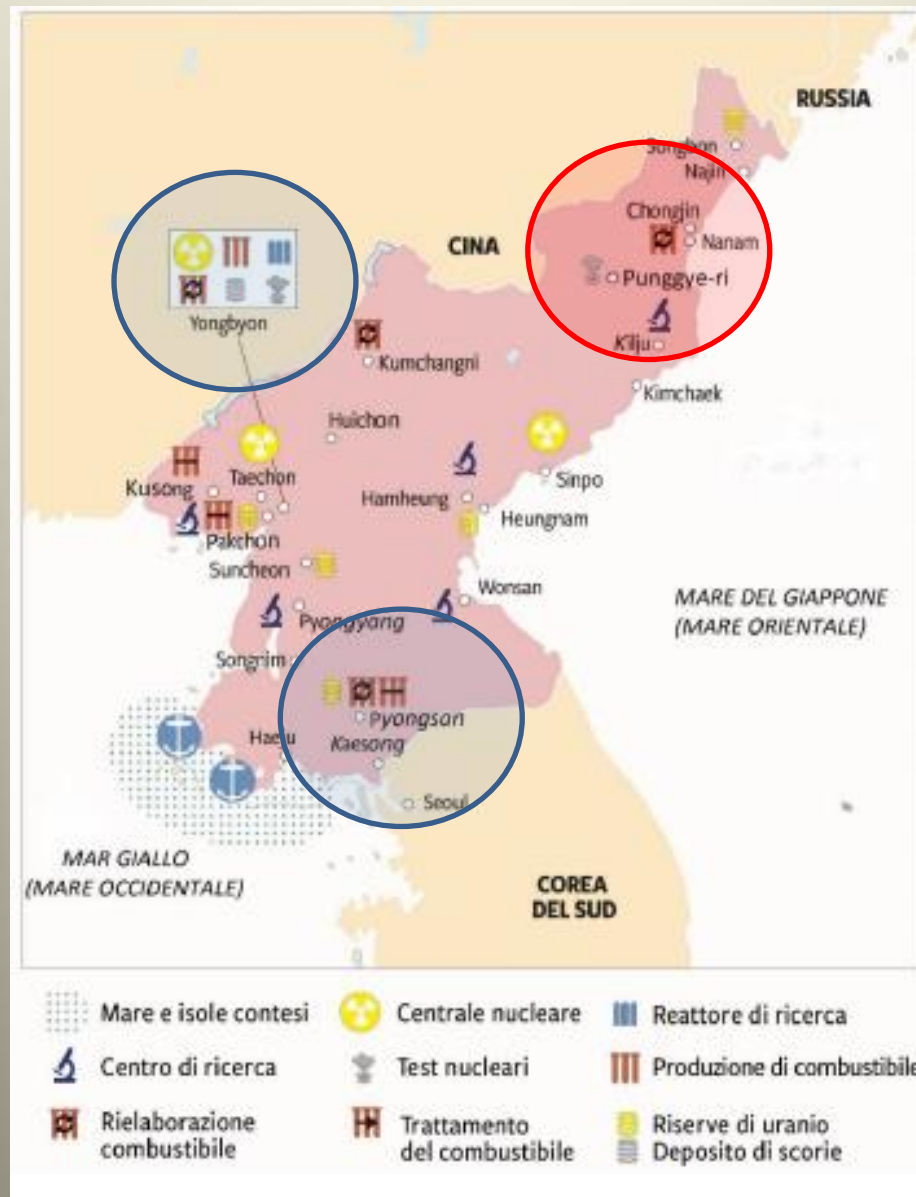
**Stima costi totali conversione materiale nucleare
e ricavi da produzione energetica e indotto**



Caso applicativo

Hot spot coreano

Siti nucleari Nord Korea



Applicazione Hot-Spot Coreano

- **Applicando l'analisi generale al Hot Spot Coreano, in base alle stime derivanti dagli studi degli esperti militari di Civiltà dell'Amore**
- **Nell'ipotesi di conversione di 40 testate ad Uranio arricchito e 10 a Plutonio**
- **Ipotizzando arricchimento 4% del combustibile per reattore civile partendo da U238 naturale, si può calcolare da 30 a 40 tonnellate di combustibile**
- **E' possibile alimentare una centrale elettronucleare da 1000 MWe per una produzione pari a 7000 – 9000 GWh con le attuali tecnologie**

Calcolo dei costi economici per 50 testate PRNK

- Costo downblending HEU (K\$ / ton U 93%) = 0.8 G\$
- Costo di fabbricazione nuovo combustibile (K\$ / ton U 4%) = 0.2-0.4 G\$
- Costi di adattamento o di costruzione 1 centrale elettro-nucleare (M\$ / MWe) 0.5- 0.8 G\$
- Costo dell'infrastruttura dorsale elettrica = 0.3-0.5 G\$

➤ -----

Stima 1-2 G\$ (bilioni o miliardi di \$)

- Costo evitato del combustibile (0.5 -0.7\$)
- Ricavi dalla generazione di energia elettrica (M€ / MWh) estesi al periodo di bruciamento (MWd / ton x M€ /MWd) = 0.10-0.12 G\$
- Occupazione e indotto (M\$ = N. Occupati / MWh x Salario medio (M\$occupato / MW) x Tempo di occupazione (Mh) = 0.5 -0.8 G\$)

- Stima 1-2 G\$
- Bilancio puramente economico in pareggio

In accordo con stima 130 G\$ per 4000 testate, cioè $50/4000 \times 130 = 1.6$ G\$

Programma Hot Spot Coreano

- La conversione è tecnicamente perseguibile
- Occorre predisporre impianti di riconversione e di utilizzo dell'energia prodotta in sito
- Operazione sotto egida IAEA e osservatori internazionali per evitare deviazioni dal programma
- Il bilancio economico è in pari, quello sociale è altamente positivo



Comitato
per una Civiltà dell'Amore

Comitato per una Civiltà dell'Amore

CONCLUSIONI FINALI GENERALI

- *Dio ha fatto Il Mondo Nucleare per il Bene dell'umanità'*
- *Il Nucleare come tutto puo' essere usato per il Bene o per il Male*
- *Le Armi Atomiche possono essere eliminate solo attraverso il processo di Conversione e Bruciamento in Centrali Eletttronucleari*
- *E' STATO GIA' FATTO IN PASSATO, PUO' ESSERE RIPETUTO*
- *Per far avvenire il Processo di Conversione Nucleare occorre la Conversione delle Anime e dei Cuori*