



Comitato
per una Civiltà dell'Amore

Comitato per una Civiltà dell'Amore

PROGRAMMA PRELIMINARE
CONVEGNO

PROGETTI DI PACE NUCLEARE DALL'AREA COREANA ALLE ALTRE NEL MONDO

LA VIA DELLA PACE: DALL'EUROPA ALL'ESTREMO ORIENTE

8 maggio 2019, ore 9:00 – 16:30

*Istituto Maria Santissima Bambina
Via Paolo VI, 21 – 00120 Città del Vaticano*

Analisi tecnica della conversione testate nucleari in combustibile per impianti elettronucleari

Massimo Sepielli (Esperto nucleare piattaforma Europea SNE-TP)

in collaborazione con

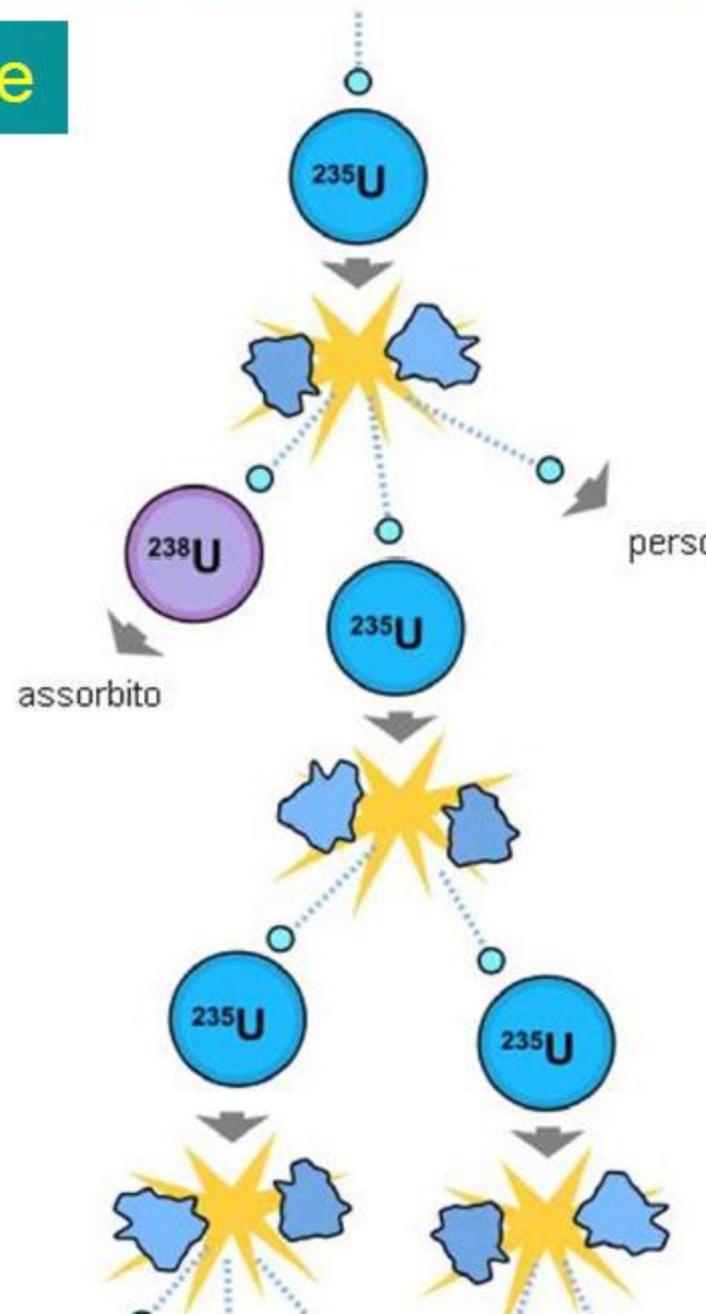
Flavio Parozzi, Franco Polidoro (Esperti CISE2007)

Analisi generale della riconversione del materiale fissile weapon-grade oggi esistente in DPRK

- Tipologia degli impianti nucleari interessati (Uranio, Plutonio).**
- Dislocazione**
- Provenienza del combustibile nucleare necessario per il programma di sviluppo.**
- Attività da prevedere sul materiale fissile "weapon grade"**
- Energia elettrica erogabile a seguito del programma e destinatari**
- Predisposizioni per garantire la sicurezza energetica dei destinatari**
- Misure da richiedere alla Corea del Nord e Corea del Sud**
- Bilancio costi e benefici economici conseguibili**
- Analisi dei costi della conversione**
- Possibilità di reinvestimento in programmi di sviluppo non energetici**
- Tempi del programma**
- Elementi mutuabili da programmi analoghi (" Megatons to Megawatts", KEDO ,IRAN)**
- Aspetti industriali e partecipazione dell'industria nazionale ed europea al programma**
- Costi generali**
- Ricavi generali**
- Imprese Enti e Istituti Italiani potenzialmente coinvolti**

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 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'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)



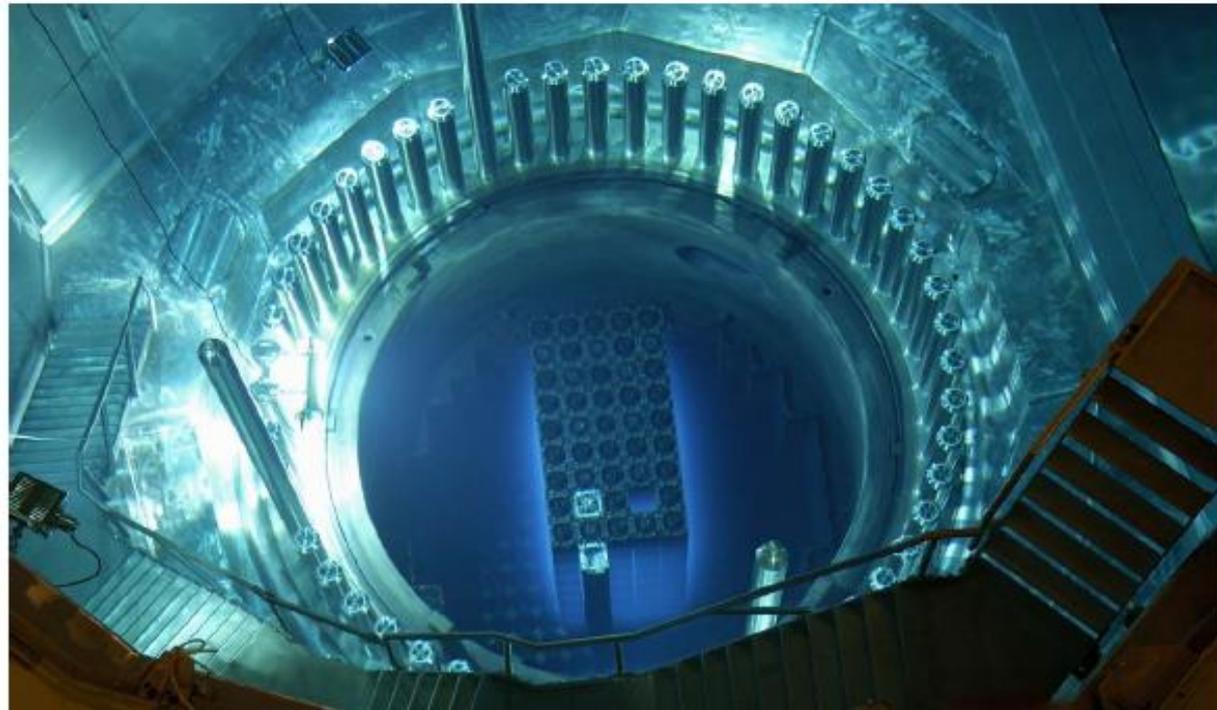
l'esplosivo delle bombe

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

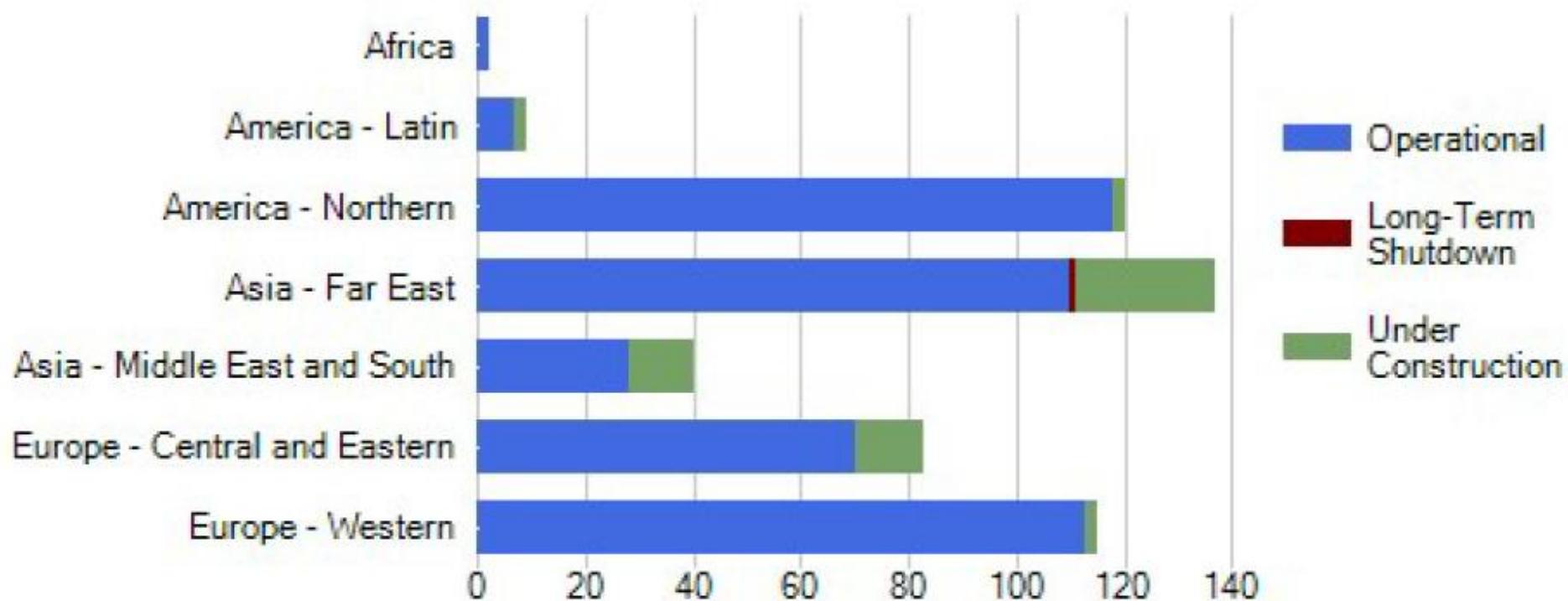


i reattori nucleari per la generazione elettrica

- 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

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 = $4.184e12$ 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

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})





Calcolo diluizione



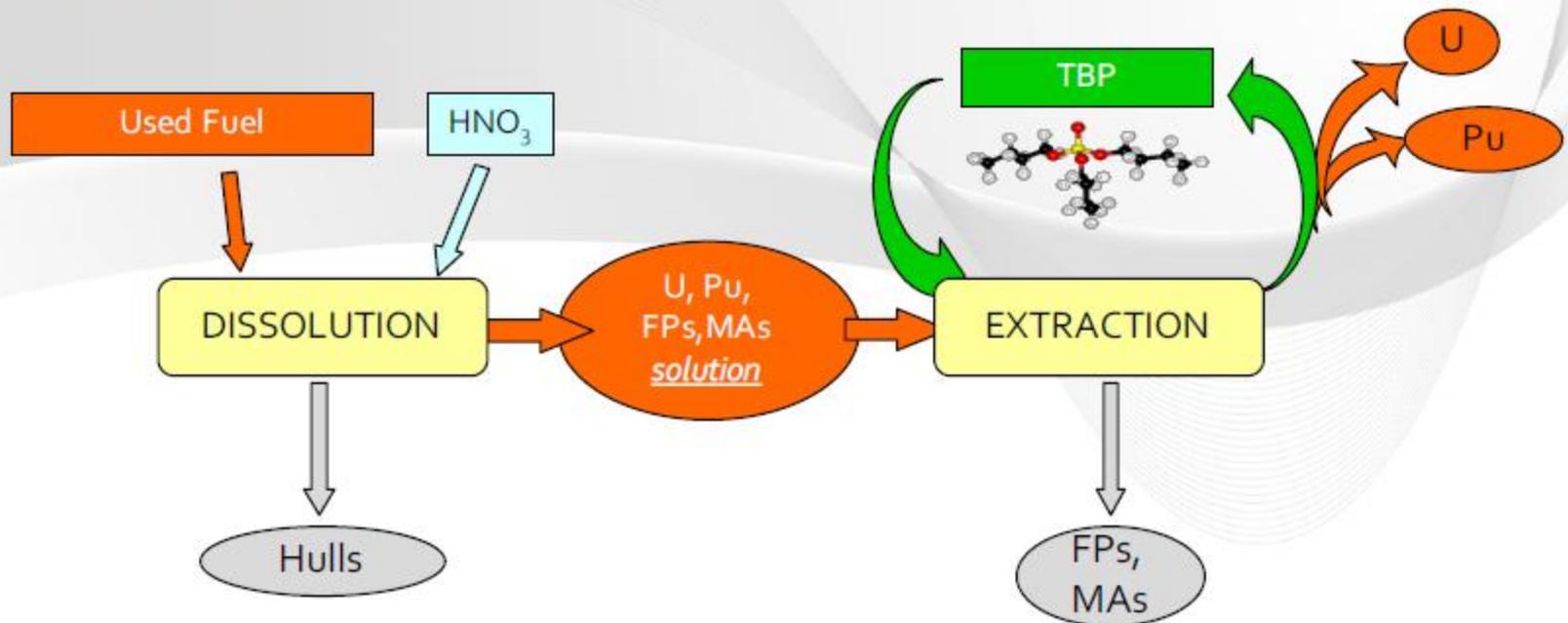
- $U_{235} / U_{nat 1} = 93 \%$ (testata atomica)
- $U_{235} / U_{nat 2} = 4 \%$
- $U_{235} = 93 \% U_{nat 1}$
- $U_{235} = 4 \% U_{nat 2}$
- $93 \% U_{nat 1} = 4 \% U_{nat 2}$
- $U_{nat 2} = 0.93 U_{nat 1} / 0.04$
- $U_{nat 2} / U_{nat 1} = 0.93 / 0.04 = 23,25$
- Da 1 Kg di testata atomica ricavo 23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

Separazione proliferante

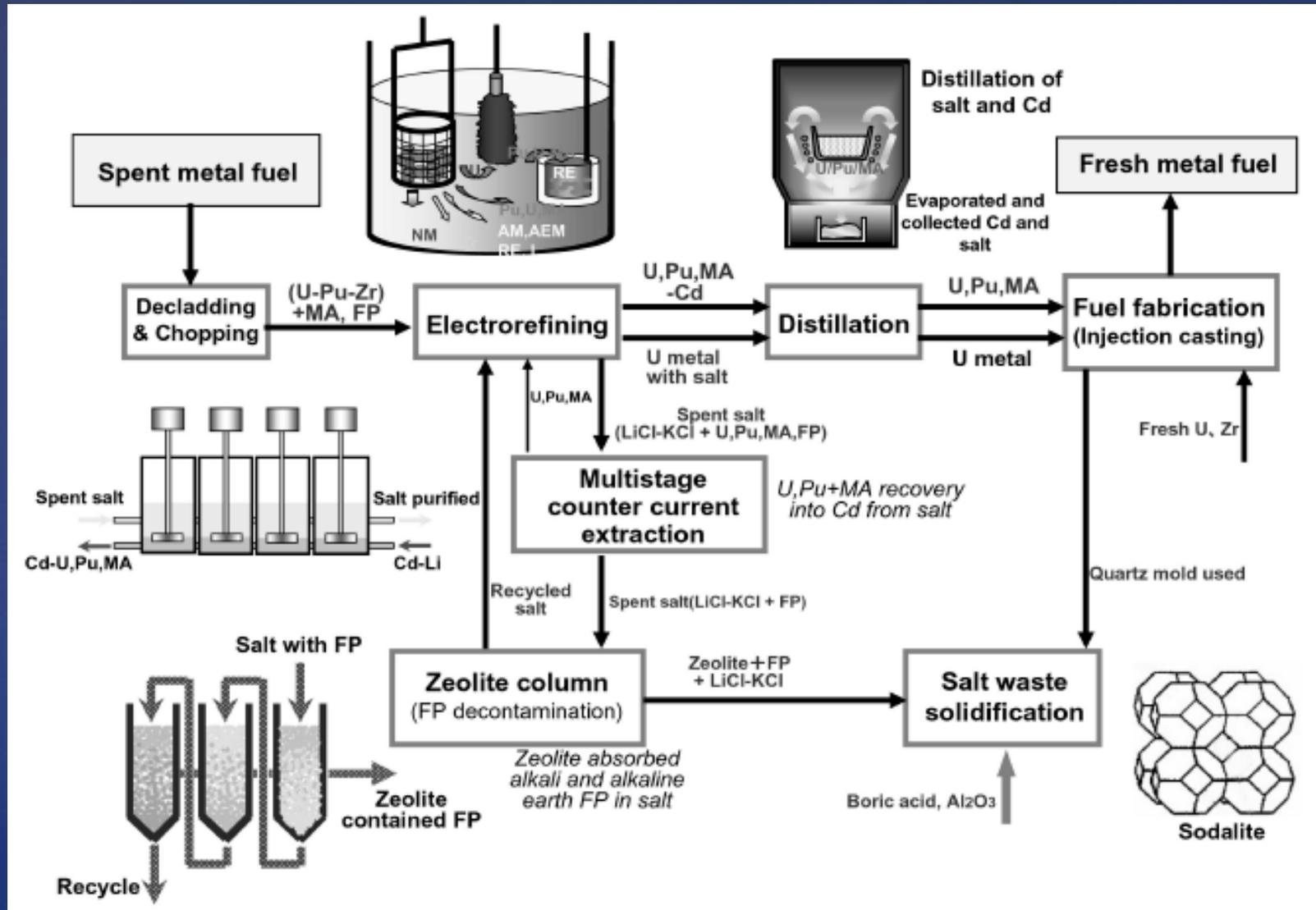
PUREX process

(Plutonium Uranium Refining by EXtraction)

- The principle of **spent fuel recycling** generally adopted throughout the world is based on the separation of the different components by **liquid/liquid extraction in tributyl phosphate (TBP)** diluted in an alkane, after the fuel has been dissolved in nitric acid.



Separazione non proliferante



Riprocessamento e separazione

95% of Used Nuclear Fuel is Recyclable

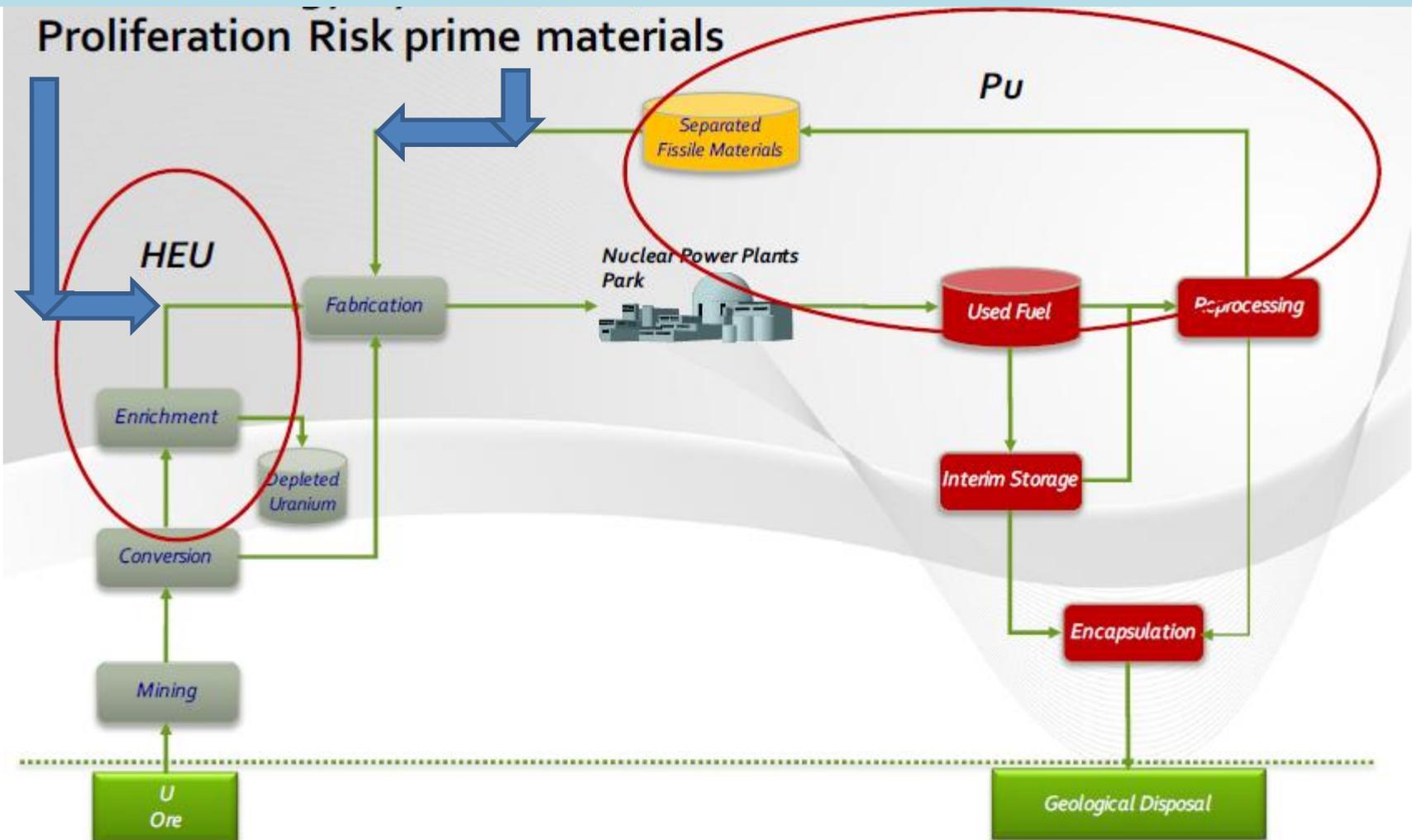
Typical composition of a Light Water Reactor Fuel

Before irradiation: - 500 kg of Uranium (PWR)

After irradiation:



Ciclo del combustibile e punti di accesso



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	300,5	631,0 - 811,3
		864,5	293,9	665,9 - 847,2
4,5	33	767,4	260,9	626,2 - 835,0
		750,7	255,1	632,7 - 817,2
4	28	651,2	221,4	642,1 - 819,2
		637,0	216,6	604,3 - 780,5
3,5	23	534,9	181,9	636,5 - 818,4
		523,2	177,9	565,1 - 732,7

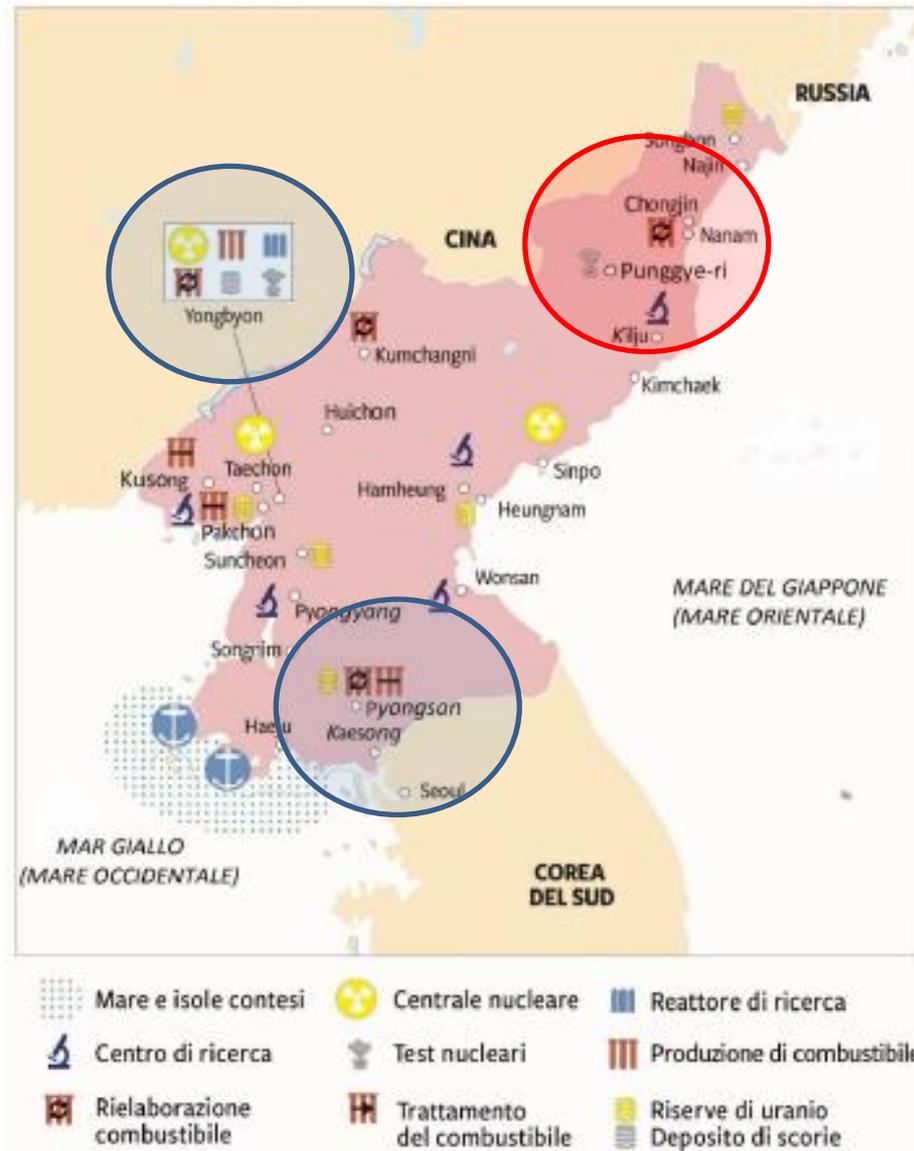
Risultati analisi generale

- 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

Calcolo dei costi economici per conversione di 4000 testate presenti in tutta l'area allargata per alimentare 30 reattori civili

- Costo di riprocessamento materiale nucleare (K\$ / ton U 93%) = 8 G\$
- Costo di fabbricazione nuovo combustibile (K\$ / ton U 4%) = 2-4 G\$
- Costi di adattamento o di costruzione centrale elettro-nucleare (M\$ / MWe) 5- 8 G\$
- Costo dell'infrastruttura dorsale elettrica = 3-5 G\$
- -----
- **Stima 20-30 G\$**
- **Costo evitato del combustibile (5 -7G\$)**
- **Ricavi dalla generazione di energia elettrica (M€ / MWh) estesi al periodo di bruciamento (MWd / ton x M€ /MWd) = 10-12 G\$**
- **Occupazione e indotto (M\$ = N. Occupati / MWh x Salario medio (M\$occupato / MW) x Tempo di occupazione (Mh) = 5 -8 G\$)**
- -----
- **Stima 20-30 G\$**
- **Bilancio puramente economico in pareggio**

Siti nucleari Nord Korea



Materiali nucleari stimati

- ❑ 20 ai 40 chilogrammi di plutonio quattro - otto bombe. Stima per “difetto”.
- ❑ Nel 2017 si è stimato l'arsenale nucleare della Corea del Nord in 37 testate
- ❑ L'intelligence americana circa 50 testate nucleari, analisti hanno dato un intervallo di 20-60.
- ❑ Si stima, inoltre, che la Corea del Nord possieda 20-40 chilogrammi di Pu
- ❑ 250-500 Kg U altamente arricchito con una produzione annuale stimata di materiale fissile per 6-7 armi.
- ❑ Testate nucleari 2018, durante i colloqui di denuclearizzazione con gli Stati Uniti produzione materiale fino a sette testate aggiuntive
- ❑ Combustibile esaurito generato dal reattore da 5 megawatt centrale nucleare di Yongbyon dal 2016-18 sia stato riprocessato a partire da maggio e avrebbe prodotto circa 5-8 kg di plutonio per uso militare.
- ❑ Con la produzione di forse 150 kg di uranio altamente arricchito, aumento del suo arsenale di 5-7 testate atomiche.
- ❑ **In definitiva 50 testate atomiche di cui 20% al Pu e 80% U arricchito**

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 di riprocessamento materiale nucleare (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 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\$)

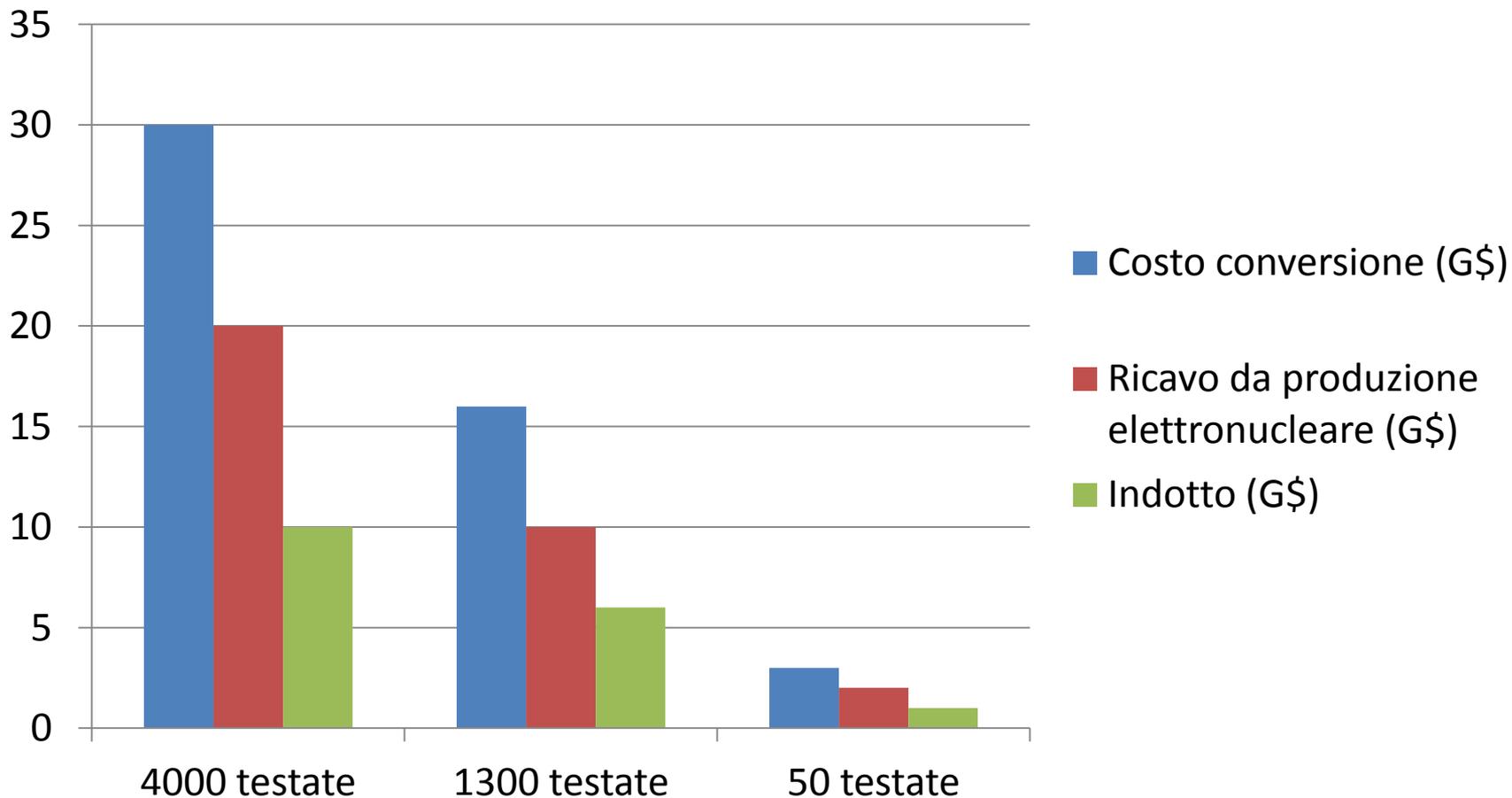
- Stima 1-2 G\$
- Bilancio puramente economico in pareggio

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

Calcolo dei costi economici per ipotesi intermedia per 1300 testate area coreana (che alimentano 10 reattori uso civile)

- Costo di riprocessamento materiale nucleare (K\$ / ton U 93%) = 4 G\$
- Costo di fabbricazione nuovo combustibile (K\$ / ton U 4%) = 2 G\$
- Costi di adattamento o di costruzione centrale elettro-nucleare (M\$ / MWe) 6 G\$
- Costo dell'infrastruttura dorsale elettrica = 4 G\$
- -----
- **Stima 16 G\$**
- **Costo evitato del combustibile (4 G\$)**
- **Ricavi dalla generazione di energia elettrica (M€ / MWh) estesi al periodo di bruciamento (MWd / ton x M€ /MWd) = 8 G\$**
- **Occupazione e indotto (M\$ = N. Occupati / MWh x Salario medio (M\$occupato / MW) x Tempo di occupazione (Mh) = 4 G\$)**
- -----
- **Stima 16 G\$**
- **Bilancio puramente economico in pareggio**

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



Conclusioni

- 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

