

a cura di

**G. Salio**

**LE CENTRALI NUCLEARI  
E LA BOMBA**

**Un legame pericoloso**

© 1984

EDIZIONI GRUPPO ABELE

---

via dei Mercanti, 6 - 10122 Torino - tel. (011) 518427

ISBN 88 - 7670 - 007 - 2

**EDIZIONI GRUPPO ABELE**

## IL CICLO DEL COMBUSTIBILE NUCLEARE PER USI MILITARI IN FRANCIA

### La questione del Superphenix

di André Gsponer

#### 1. Introduzione

Fin dalla decisione assunta il 18 novembre 1945 dal governo provvisorio del generale De Gaulle, tutte le responsabilità nelle questioni nucleari francesi sono nelle mani del CEA (*Commissariat à l'Energie Atomique*). La prima decisione ufficiale sulla militarizzazione del programma nucleare francese fu presa nel giugno 1956, quando venne creata una sezione militare all'interno del CEA, mentre risale al 1958 la decisione finale di costruire e collaudare un'arma nucleare.

L'esplosione nel deserto del Reggan (Sahara) della prima bomba nucleare francese, già nel febbraio 1960, fu resa possibile da decisioni risalenti al 1952 e 1957. Il piano quinquennale del 1952 era rivolto alla progettazione e costruzione di un complesso per la produzione e purificazione del plutonio, con una capacità sufficiente a fornire, prima della fine del decennio, quantità significative di plutonio ad alto potenziale militare (plutonio *weapon grade*). Tale complesso fu completato a Marcoule durante il piano quinquennale avviato nel 1957, che comprendeva i primi stanziamenti per un impianto militare per l'arricchimento dell'uranio, da costruire a Pierrelatte.

La prima bomba all'idrogeno francese fu collaudata nel 1967. L'uranio usato come innesco a fissione proveniva da Pierrelatte e il trizio era stato prodotto da speciali reattori installati a Marcoule.

Le prime tre grandi centrali elettronucleari che entrarono in funzione a metà degli anni sessanta furono progettate per produrre elettricità e al tempo stesso per essere utilizzate come impianti di riserva dei reattori militari di Marcoule sia nell'eventualità di un incidente, sia per completare la produzione di questi reattori, qualora si rendesse necessario. Analogamente, il secondo impianto di ritrattamento francese che fu costruito a La Hague venne progettato tenendo presente questo obiettivo. L'intero complesso per la produzio-

ne del combustibile nucleare per uso militare, compresi i vari servizi ausiliari e di riserva, fu completato e divenne operante tra la fine degli anni cinquanta e l'inizio degli anni sessanta. La divisione militare del CEA (DAM-CEA, *Division des Applications Militaires du CEA*) è responsabile della progettazione, collaudo e manutenzione di testate nucleari e dello studio e fabbricazione di reattori per la propulsione di navi. Il DAM-CEA si occupa del funzionamento di 7 grandi impianti sul territorio francese e della zona di collaudo nell'Oceano Pacifico (CEP, *Centre d'Essai du Pacifique*). La COGEMA (*Compagnie Générale des Matières Nucléaires*), una consociata del CEA (vedi tabella 1), è responsabile della produzione di materiali per le armi nucleari (uranio, plutonio, trizio).

Benché molte decisioni di incrementare le dimensioni degli arsenali nucleari francesi siano già state prese, non c'è alcuna indicazione che gli impianti per la produzione di uranio, plutonio e trizio attualmente esistenti verranno ampliati per soddisfare la crescente domanda di materiali per bombe nucleari. Inoltre, i reattori della prima generazione, installati a Marcoule, per la produzione di plutonio, come pure quelli di riserva a Chinon, che non siano già stati chiusi, saranno tutti obsoleti verso il 1990, e non c'è nessun progetto per rimpiazzarli. I soli reattori previsti per scopi militari ancora in attività saranno dunque i due reattori ad acqua pesante installati a Marcoule, che possono essere usati per produrre trizio e/o plutonio (vedi tabella 3), e la cui capacità di produzione non è tuttavia nota con certezza.

Conseguentemente, soprattutto nella prospettiva di fabbisogni ancora maggiori, come nel caso di una decisione che prevede la produzione di un gran numero di bombe al neutrone, si sono avute di recente molte speculazioni sul futuro della produzione di bombe nucleari in Francia. Per esempio, si è discusso del possibile uso militare del plutonio ad altissimo potenziale militare (plutonio *high weapon grade*) generato nel mantello del reattore veloce Superphenix, o delle implicazioni di un possibile arricchimento laser del plutonio a basso potenziale militare (plutonio *low weapon grade*) estratto dal combustibile esaurito dai reattori ad acqua leggera.

Nei paragrafi seguenti verranno descritti con un certo dettaglio i più importanti impianti francesi del ciclo di combustibile nucleare militare. Infine, nel paragrafo conclusivo verranno svolte alcune considerazioni sui possibili sviluppi futuri.

## 2. Estrazione e lavorazione dell'uranio

La Francia è nella posizione eccezionale di essere il solo paese in Europa con considerevoli risorse di uranio: 59.300 tonnellate di risorse ragionevolmente certe e 28.400 tonnellate di risorse supplementari stimate nel 1981. In totale, circa il 2% delle riserve mondiali note.

La lavorazione su larga scala del minerale di uranio iniziò nel 1952 con la produzione delle prime decine di tonnellate di uranio di grande purezza, sotto forma di ossido e di metallo. Nel 1957, la produzione francese di uranio era di circa 300 tonnellate all'anno e nel 1981 l'estrazione di minerale dal territorio francese fornì 2.553 tonnellate di metallo di uranio, mentre le partecipazioni francesi in altri paesi ne fornirono 3.830 tonnellate. La maggior parte di questo uranio è usata per alimentare le centrali elettronucleari, ma sin dall'inizio del programma francese di armamento nucleare, la capacità nazionale di produzione di uranio è sempre stata sufficiente a soddisfare le necessità militari.

### 3. Produzione del plutonio

#### *Reattori con moderatore a grafite*

Verso la fine degli anni '50, furono costruiti a Marcoule tre reattori allo scopo di produrre plutonio ad alto potenziale militare alimentati con uranio naturale e dotati di moderatore a grafite. Il calore prodotto da questi reattori era in grado di fornire circa 80 MW di potenza elettrica, ma gli impianti furono invece ottimizzati per generare almeno 100 kg di plutonio all'anno.

Il primo reattore, G1, aveva una potenza di 40 MW termici ed era raffreddato con aria a pressione atmosferica. Venne attivato nel 1956 e chiuso nel 1968.

G1 e G3, attivati nel 1958 e 1959 rispettivamente, hanno una potenza massima di 240 MW termici l'uno. Il raffreddamento avviene tramite anidride carbonica a una pressione di 15 kg/cm<sup>2</sup>. L'ammontare totale di uranio naturale necessario per una carica è di 150 tonnellate suddivise in 36.000 elementi di combustibile di 30 cm di lunghezza, inseriti nei canali orizzontali del moderatore. Quest'ultimo ha la forma di un cilindro orizzontale lungo 845 cm, con un diametro di 780 cm. Le 16.402 barre di grafite che formano il moderatore, più il riflettore e la parete posteriore pesano complessivamente 1271 tonnellate. G2 è stato definitivamente chiuso nel 1980. G3 è dunque il solo reattore destinato alla produzione di plutonio attualmente in funzione in Francia, ma sarà chiuso anch'esso nel giugno 1983.

La potenza massima totale dei tre reattori era di 520 MW termici. Assumendo che ogni nucleo di uranio fissionato produca un nucleo di plutonio, la produzione di plutonio è di 1,2 kg ogni 1000 MWd (è l'energia termica prodotta da un impianto di 1000 MW in un giorno di funzionamento). Si ha dunque un massimo teorico di:

$$520 \times 365 \times 1,2 / 1000 = 220 \text{ kg di plutonio all'anno,}$$

cioè un margine sufficiente per raggiungere l'obiettivo di produrre 100 kg di plutonio ad alto potenziale militare all'anno, tenendo conto del decadimento radioattivo, della manutenzione e di varie altre perdite.

Il plutonio ad alto potenziale militare non contiene più del 6% di isotopi diversi dal Pu-239. Si ottiene questo risultato quando la produzione di energia per unità di massa del combustibile è mantenuta inferiore a 1000 MWd/t. (Per brevità, indicheremo d'ora in poi la produzione di energia per unità di massa col nome di coefficiente di utilizzo, ndT). La quantità di uranio che deve essere estratto dal reattore e ritrattato è quindi data da:

$$520 \times 365/1000 = 200 \text{ tonnellate all'anno.}$$

Il plutonio ad altissimo potenziale militare contiene più del 97% di Pu-239 e si ottiene con un coefficiente di utilizzo pari a 300 MWd/t, che comporta il trattamento di 600 tonnellate di uranio all'anno. Questa quantità determina la capacità minima annuale dell'impianto di ritrattamento e anche la quantità di uranio che deve essere estratto dalle miniere per fabbricare gli elementi di combustibile, assumendo che l'uranio recuperato col ritrattamento non venga riutilizzato per produrre energia.

Tre centrali elettronucleari sono state costruite a Chinon al duplice scopo di produrre corrente elettrica e, se necessario, plutonio ad alto potenziale militare. Questi reattori, EDF 1, 2 e 3, sono alimentati con uranio naturale, moderati a grafite, raffreddati con anidride carbonica sotto pressione e sono dotati di un sistema di caricamento e di estrazione veloce del combustibile che consente loro di funzionare a piena potenza, mentre gli elementi di combustibile vengono estratti e sostituiti molto frequentemente in quanto operano con un basso coefficiente di utilizzo. Lavorano infatti normalmente con un coefficiente medio di 5000 MWd/t che fornisce plutonio a basso potenziale militare, ma è probabile che qualche elemento di combustibile venga estratto con un coefficiente di utilizzo più basso al fine di completare la produzione del reattore G3, mantenendo quindi al suo massimo valore la quantità di plutonio ad alto potenziale militare prodotta a Marcoule. Solo EDF 2 e 3 sono attualmente in funzione, e ci si aspetta che vengano chiusi intorno alla fine degli anni '80.

Gli altri reattori a gas-grafite alimentati con uranio naturale attualmente in funzione in Francia (St. Laurent 1 e 2, Bugey 1) non sono dotati del sistema di caricamento e estrazione veloci. Il loro possibile contributo alla produzione di plutonio ad altissimo potenziale militare è quindi limitato a quegli elementi di combustibile che vengono estratti con un coefficiente di utilizzo inferiore alla media.

#### *Reattori ad acqua pesante*

La costruzione dei due reattori Célestin fu completata nel 1967/68, dieci anni dopo l'entrata in funzione dei reattori a grafite. La principale motivazione per la costruzione di questi reattori fu la produzione di trizio necessario per fabbricare la bomba all'idrogeno. Ma i reattori in grado di produrre trizio sono anche molto efficienti nella produzione di plutonio ad alto potenziale militare. Essi richiedono

tuttavia una tecnologia più avanzata di quella dei reattori a grafite alimentati con uranio naturale: ad esempio per alimentare il reattore è necessario disporre di uranio arricchito o di plutonio a basso potenziale militare, e naturalmente si deve avere anche un impianto in grado di produrre acqua pesante. Questo tipo di reattori è in funzione anche in altri paesi. Per esempio, l'impianto di Savannah River, negli USA, costituisce la spina dorsale del complesso americano per la produzione di materiali per le armi nucleari.

I reattori Célestin sono formati da un serbatoio contenente 187 tubi multiuso. Il serbatoio è riempito con acqua pesante, a una pressione compresa tra 3 e 5 kg/cm<sup>2</sup>, che agisce da moderatore e da sistema primario di raffreddamento. I tubi contengono gli elementi di combustibile, gli elementi bersaglio e le barre di controllo. La temperatura massima dell'acqua pesante è 100 °C. Perciò si possono usare leghe di alluminio sia per gli elementi di combustibile sia per i bersagli, ma non si ottiene energia elettrica come sottoprodotto. Il serbatoio del reattore è immerso in una piscina riempita di acqua normale.

Nella loro configurazione iniziale (1967-1970) i reattori Célestin fornivano un volume di circa 2 m<sup>3</sup> di elementi bersaglio irradiati, sistemati in 84 tubi. Con questa configurazione e con elementi di combustibile di uranio arricchito, la potenza durante il funzionamento normale di ciascun reattore era di 190 MW termici. Molto probabilmente, in quel periodo si usavano bersagli di litio per la produzione di trizio; tuttavia, se si fosse messo dell'uranio esaurito, si sarebbe potuto produrre una quantità massima annua di 150 kg di plutonio ad alto potenziale militare.

Un'importante caratteristica dei reattori a piscina di questo tipo è la possibilità di aumentare facilmente, in una certa misura, la loro potenza. Di questa possibilità, infatti, si parla sin dal 1970. Sulla base di queste esperienze, è molto probabile che l'attuale potenza dei reattori Célestin sia di 400 MW termici ciascuno. Supponendo che entrambi i reattori vengano fatti funzionare a questa potenza per produrre plutonio, la massima produzione complessiva sarebbe di 350 kg di plutonio all'anno. È importante osservare che contrariamente a quanto avviene per gli altri reattori militari francesi, l'attuale potenza dei reattori Célestin non è mai indicata nella letteratura non riservata.

Nel suo rapporto annuale del 1981, il CEA annunciava che i reattori Célestin di Marcoule stavano continuando la loro produzione di plutonio per i programmi militari. Ciò significa che questi reattori, oltre che per la loro produzione di trizio, Pu-238, Pu-240, Cm-244, Co-60, ecc., sono anche usati per produrre Pu-239 per testate nucleari.

### *Reattori autofertilizzanti*

A parte piccole quantità di plutonio che si possono ottenere dal ritrattamento di materiali provenienti da reattori di ricerca, una delle più importanti fonti possibili di plutonio ad alto potenziale militare è il mantello del prototipo di reattore veloce (autofertilizzante) Phenix, installato a Marcoule. La quantità di plutonio ad altissimo potenziale militare generata nel mantello di questo reattore è di 115 kg all'anno. Analogamente, il mantello del Superphenix, che sarà ritrattato quando avrà raggiunto un consumo di combustibile equivalente a 1200 MWd/t, potrebbe fornire 330 kg annui di plutonio ad alto potenziale militare.

#### 4. Estrazione del plutonio

Le esperienze di chimica del plutonio cominciarono nel 1949 con l'estrazione di pochi milligrammi di plutonio da elementi di combustibile di uranio provenienti da ZOE, il primo reattore nucleare francese.

L'impianto di Marcoule (UP1) per il ritrattamento del combustibile di uranio metallico esaurito utilizza il processo PUREX e fu progettato per una capacità di 1000 tonnellate all'anno. La quantità di materiale effettivamente ritrattata da questo impianto tra il 1958 e il 1981 è stata in media di 520 t/anno. Supponendo che tutto questo combustibile avesse un coefficiente di utilizzo di 300 MWd/t, la quantità totale di plutonio ad alto potenziale militare che è stata prodotta dovrebbe ammontare approssimativamente a:

$$300 \times 12.000 \times 1,2 / 1000 = 4300 \text{ kg di plutonio.}$$

L'impianto di riserva di La Hague (UP2) è stato progettato per una capacità di 400 t/anno. Tra il 1967 e il 1981 ha ritrattato in media 280 tonnellate all'anno di combustibile proveniente da reattori a gas-grafite.

Il combustibile esaurito del prototipo di reattore veloce Rapsodie (avviato nel 1967 e chiuso nel 1982) è stato ritrattato a La Hague. Dal 1974, sono state ritrattate a Marcoule 7 tonnellate di combustibile esaurito provenienti dal Phenix e altre 4 tonnellate a La Hague (diluendo il combustibile del reattore veloce con altro proveniente da reattori a gas-grafite).

La capacità dell'impianto UP1 è stata attualmente incrementata cosicché il combustibile esaurito di tutti i reattori a gas-grafite può essere ritrattato a Marcoule, e perciò la corrispondente capacità di La Hague può essere resa disponibile per il ritrattamento di combustibile ad alto coefficiente di utilizzo proveniente da reattori ad acqua leggera. In tal modo, a Marcoule verrà ritrattato il combustibile costituito da uranio metallico a basso coefficiente di utilizzo fino alla chiusura dei restanti reattori a gas-grafite.

Il ritrattamento del combustibile dei reattori veloci inizierà nel

1984 a Marcoule con un impianto dimostrativo (TOR) della capacità di 5 tonnellate all'anno. Il ritrattamento dei mantelli del Phenix e del Superphenix è simile a quello del combustibile costituito da uranio metallico, e può perciò essere effettuato facilmente nell'UPI.

## 5. Arricchimento dell'uranio

Per alimentare i reattori utilizzati per la propulsione navale, i reattori di ricerca e quelli che producono trizio è necessario usare uranio altamente arricchito. Esso costituisce una obsoleta alternativa al plutonio nella costruzione di armi nucleari ed è stato usato nei primi progetti di innesco per la bomba H.

L'impianto militare di Pierrelatte per l'arricchimento dell'uranio fu avviato nel 1964. È un impianto a diffusione gassosa con una capacità di 300.000 SWU/anno (unità di lavoro di separazione all'anno). Questo dato corrisponde a una produzione annua di 1200 kg di U-235 arricchito al 93%, a partire da 300 tonnellate di uranio naturale.

Il complesso di Pierrelatte è costituito da 4 impianti nei quali l'U-235 è arricchito rispettivamente a 1,85%, 8%, 25% e infine a più del 90%. Per ragioni di economia, i primi due impianti sono stati chiusi nel 1982. In effetti, secondo il CEA la riserva di uranio a basso grado di arricchimento è sufficiente ad assicurare i fabbisogni sia civili che militari. Inoltre, l'uranio arricchito è costantemente riciclato dai reattori navali e dalle testate nucleari obsolete. Questo uranio può essere mescolato con quello a basso arricchimento e utilizzato quindi negli ultimi due impianti. Infine, le moderne armi nucleari utilizzano plutonio ad altissimo potenziale militare invece che U-235, riducendo quindi la domanda per uranio ad alto grado di arricchimento.

Non si conosce alcun progetto che preveda l'ampliamento dell'impianto di Pierrelatte. Tuttavia, nei laboratori del DAM-CEA a Limeil si stanno facendo delle ricerche sull'arricchimento isotopico mediante laser. Questa tecnologia potrebbe risultare importante non solo per ottenere uranio altamente arricchito, ma anche per purificare il plutonio estratto dai reattori di potenza e trasformarlo in plutonio ad alto potenziale militare.

## 6. Produzione ed estrazione del trizio

Il trizio è un elemento essenziale delle bombe all'idrogeno. Viene anche usato per le armi nucleari tattiche, delle quali contribuisce ad aumentare la resa diminuendo la quantità di plutonio necessaria e rinforzando lo spettro dei neutroni (cioè aumentando la percentuale di neutroni ad alta energia, ndT). Infine, notevoli quantità di trizio sono necessarie per la costruzione di bombe al neutrone. Si stima che siano necessari almeno 7,2 g di trizio per ogni kiloton di potenza di una bomba al neutrone. Poiché il trizio ha un tempo di dimezzamento di 12 anni, è necessario averne costantemente una riserva a disposizione



per rimpiazzare quello che man mano decade nelle singole armi. Ad esempio, per mantenere efficiente un arsenale di 1000 bombe al neutrone è necessaria una produzione annuale di trizio pari a:

$$1000 \times 7,2 / 12 = 600 \text{ g.}$$

Il trizio viene prodotto irradiando il litio (Li) con neutroni. Se un neutrone viene assorbito da un nucleo di U-238, si produce un nucleo di Pu-239; lo stesso neutrone può essere assorbito dal Li-6 dando origine a un nucleo di trizio (T-3) e a un nucleo di elio (He-4). Perciò, un reattore capace di generare un kg di plutonio può, in linea di principio, produrre in alternativa:

$$1000 \times 3 / 239 = 15 \text{ g di trizio all'anno.}$$

Bisogna però tener conto del fatto che nei reattori alimentati con uranio naturale questo costituisce sia la sorgente di neutroni (l'isotopo fissile U-235), sia la sorgente di plutonio (l'isotopo fertile U-238). Sostituendo alcuni elementi di combustibile di uranio con litio, che non è fissile e ha una maggiore capacità di assorbimento di neutroni, il numero totale di neutroni disponibile nel reattore si riduce. Perciò non è possibile generare efficientemente grandi quantità di trizio in un reattore alimentato con uranio naturale.

Il metodo standard per produrre trizio prevede l'uso di reattori ad acqua pesante, alimentati con uranio altamente arricchito o plutonio. Due di questi reattori, Célestin 1 e 2, sono in funzione a Marcoule. Supponendo che la potenza di ciascun reattore sia compresa tra 200 e 400 MW termici, la massima produzione complessiva annua è di circa 2200 g.

Il Li-6 irradiato nei reattori Célestin viene arricchito nell'impianto COGEMA di Miramas. Il ritrattamento del litio e l'estrazione del trizio si effettuano a Marcoule.

Normalmente, il combustibile che viene usato nei reattori Célestin è una lega di alluminio e plutonio. Quando vengono usati per produrre plutonio, questi reattori sono caricati con combustibile che contiene anche plutonio a basso grado di purezza e i neutroni emessi nelle reazioni di fissione vengono catturati da uranio esaurito, generando così plutonio ad alto potenziale militare.

I reattori Célestin sono usati anche per produrre isotopi diversi dal trizio e dal plutonio e perciò è difficile stimare la produzione complessiva di questi due elementi.

## 7. Gestione delle scorie altamente radioattive

Durante il ritrattamento del combustibile esaurito e irradiato, vengono prodotte scorie liquide ad alto tasso di radioattività. Racchiusi in speciali contenitori di acciaio a prova di corrosione, questi liquidi vengono raffreddati fino a rendere possibile la solidifi-

cazione dei prodotti di fissione in essi contenuti. Questo processo richiede approssimativamente cinque anni, durante i quali i liquidi vengono continuamente rimescolati e tenuti sotto controllo.

Dal 1958, si sta studiando a Marcoule un processo di vetrificazione per trasformare in solido solubile le scorie liquide raffreddate: i prodotti di fissione vengono incorporati in una sostanza vetrosa formata da borosilicati. Tra il 1969 e il 1973, sono stati vetrificati nell'impianto pilota "PIVER" di Marcoule circa  $5 \times 10^6$  Ci (curie) di scorie pari a 12 tonnellate di vetro contenenti fino a 3000 Ci per litro.

Nel 1969 è entrato in funzione l'impianto di vetrificazione AV<sub>3</sub> (*Atelier de Vitrification de Marcoule*) con una capacità di 50 m<sup>3</sup> di vetro all'anno. Lo scopo di questo impianto è di solidificare le scorie di origine militare generate dall'impianto di ritrattamento UP1 negli ultimi 20 anni e quelle che verranno prodotte in futuro.

Dopo 10 anni di raffreddamento sotto forma di liquido, le scorie altamente radioattive provenienti dal ritrattamento di una tonnellata di uranio irradiato a 300 MWd/t hanno un'attività di circa 3000 Ci. Le 12.000 tonnellate di combustibile esaurito ritratte a Marcoule corrispondono dunque ad almeno  $3,6 \times 10^7$  Ci. Supponendo una concentrazione media dei prodotti di fissione nel vetro pari a 1000 Ci per litro, il volume delle scorie altamente radioattive dopo la vetrificazione corrisponderebbe a circa 36 m<sup>3</sup>. Questo volume è paragonabile alla capacità annuale dell'impianto di vetrificazione e ciò suggerisce che probabilmente il combustibile ritratto nell'UP1 ha un coefficiente di utilizzo medio superiore ai 300 MWd/t che corrisponde alla produzione di plutonio ad altissimo potenziale militare.

Poiché l'AV<sub>3</sub> è entrato in funzione nel 1979, sono già stati prodotti 140 m<sup>3</sup> di scorie vetrificate. Sotto forma solida, le scorie altamente radioattive hanno un volume circa 7 volte minore che allo stato liquido, ma la sostanza vetrificata deve ancora essere conservata in una camera di raffreddamento al fine di disperdere il calore residuo prodotto dalle disintegrazioni radioattive.

## 8. Fabbisogni futuri di materiali per armi nucleari e possibili implicazioni

L'attuale programma militare nucleare francese prevede la costruzione di circa 600 testate per la forza strategica M4 (6 sottomarini, con 16 missili dotati di 6 testate ciascuno) e 200 testate per il futuro missile tattico Hadès. La decisione in sospeso relativa alla bomba al neutrone corrisponderebbe a un numero variabile tra le 500 e le 1500 testate.

Con le tecnologie attuali, per produrre una testata occorrono circa 3 kg di plutonio. Se verrà dato corso a questo programma di riarmo, occorreranno dunque da 2500 a più di 7500 kg di plutonio ad alto potenziale militare. La dimensione e composizione isotopica dell'attuale

riserva di plutonio ad alto potenziale militare non è nota, ma, dalla nostra stima del paragrafo 4, potrebbe essere superiore a 3000 kg, supponendo che l'attuale arsenale francese comprenda complessivamente non più di 400 testate al plutonio. Neppure la quantità di trizio disponibile è nota, ma potrebbe raggiungere anch'essa valori ragguardevoli.

Chiaramente, supponendo che la bomba al neutrone non venga costruita, sembrerebbe che la quantità di materiali nucleari disponibili sia sufficiente a soddisfare il programma di riarmo nucleare. Tuttavia, se verrà presa la decisione di costruire la bomba al neutrone, potrà rendersi necessario un aumento del materiale nucleare ad alto potenziale militare. In effetti, supponendo che siano disponibili solo i reattori Célestin, la loro produzione non potrebbe superare i 150 kg di Pu e i 2 kg di T e cioè potrebbe soddisfare solo marginalmente le richieste necessarie per costruire le 1000 bombe al neutrone previste. Comunque, questa valutazione conclusiva dipende dalle conoscenze che sono state raggiunte nel campo della moderna tecnologia per la costruzione delle armi nucleari. Ad esempio:

- Quanto trizio è necessario per costruire una bomba al neutrone?
- Il plutonio a basso potenziale militare (cioè estratto da combustibile con un coefficiente di utilizzo di 5000 MWd/t) può essere usato per costruire armi nucleari e in particolare per l'innescò delle bombe al neutrone?

Nel caso si intenda aumentare la capacità di produzione degli impianti militari nucleari francesi, si dovrà rispondere a questioni tecniche relative ai nuovi sistemi di produzione di energia nucleare:

- Il plutonio prodotto dai reattori ad acqua leggera può essere arricchito tramite laser o con altre tecniche, in modo da ottenere plutonio ad alto potenziale militare?
- I normali reattori ad acqua leggera possono essere modificati facilmente per produrre in modo efficiente plutonio o trizio?
- I reattori autofertilizzanti possono costituire una soluzione economicamente interessante per produrre plutonio ad alto potenziale militare nel mantello che circonda il nocciolo?
- Le nuove tecnologie, come quelle degli acceleratori fertilizzanti o dei reattori ibridi a fusione, possono diventare competitive rispetto ai reattori a fissione prima della fine del secolo?

Indipendentemente dalle risposte che verranno date a queste domande, si dovranno tenere presenti i seguenti fatti che sono fondati su basi non opinabili:

1. A Marcoule, il reattore G3 verrà definitivamente chiuso nel giugno 1983. I reattori Célestin entrati in funzione nel 1967/1968 potranno ancora funzionare per 10 o 20 anni. Anche se la loro potenza massima è stata aumentata da quando sono entrati in funzione, probabilmente l'attuale produzione sarà solo sufficiente a compensare la chiusura dei reattori a gas-grafite.

2. I rimanenti reattori a gas-grafite EDF saranno chiusi entro dieci anni circa, senza che sia stato preparato alcun piano per sostituirli. I reattori di Marcoule per la produzione di plutonio saranno dunque lasciati senza impianti di riserva.
3. Nel mantello del reattore autofertilizzante Superphenix verranno prodotti annualmente 330 kg di plutonio che saranno ritrattati a Marcoule assieme al plutonio proveniente dal Phenix, che può fornire circa 115 kg all'anno di plutonio ad alto potenziale militare. Questi due reattori potrebbero quindi costituire l'alternativa ai reattori Célestin negli anni '90.
4. Il fatto che gli attuali impianti per la produzione di materiali nucleari militari comincino a venire chiusi perché stanno raggiungendo il limite della loro vita media, costituisce una situazione comune a tutti gli stati dotati di armi nucleari. Per esempio, negli Stati Uniti l'opzione preferita per sostituire i reattori più vecchi è quella di costruire reattori autofertilizzanti a metallo liquido. Il principale vantaggio che gli USA intravedono in questi reattori è che essi possono produrre con un alto grado di efficienza sia materiali nucleari militari che al tempo stesso elettricità.

Tenendo presente queste considerazioni, si può sostenere che la costruzione del Superphenix è motivata, almeno in parte, dalla sua possibilità di contribuire ai programmi militari. I pochi cenni seguenti possono avvalorare ulteriormente questa interpretazione:

1. L'uso del plutonio ad altissimo potenziale militare prodotto nel mantello del Phenix e del Superphenix sarebbe coerente con la politica francese di disporre di installazioni esclusivamente militari e di impianti di riserva che vengono usati anche a scopi civili. Nel caso in cui i reattori Célestin producessero plutonio militare, il Phenix e il Superphenix costituirebbero i necessari impianti di riserva e fornirebbero un supplemento di oltre 400 kg di plutonio all'anno. Se invece i reattori Célestin venissero destinati alla produzione di trizio, i reattori autofertilizzanti diventerebbero a quel punto la sola fonte francese di plutonio ad alto potenziale militare.
2. La questione della interazione tra fabbisogni militari di plutonio e programma dei reattori autofertilizzanti è stata discussa negli ambienti militari. La rilevanza dei reattori rispetto al programma di armamento nucleare è stata esplicitamente sostenuta dal generale Thiry, comandante in capo del centro per i test di armi nucleari nell'Oceano Pacifico. Inoltre, Paul Granet, ex segretario generale della Difesa, considera il reattore autofertilizzante Phenix come parte del ciclo del combustibile militare francese: "La Francia sa costruire armi atomiche di tutti i tipi e di qualsiasi potenza. Essa potrà, con costi relativamente piccoli, fabbricarne grandi quantità, dopo che i reattori autofertilizzanti forniranno in abbondanza il plutonio necessario ...", *Le Monde*, 19 gennaio 1978, p. 7.

3. La possibilità di usare il mantello dei reattori autofertilizzanti per produrre plutonio ad alto potenziale militare è stata riconosciuta in un rapporto ufficiale sul ritrattamento.
4. Funzionari del CEA non hanno negato la possibilità di usare il plutonio generato nel Superphenix per scopi militari.

Tuttavia, alcune argomentazioni potrebbero risultare a *sfavore* di un uso militare del Superphenix:

1. Sono ben note le difficoltà del programma francese di sviluppo dei reattori autofertilizzanti. Sarebbe nell'interesse di questo programma cercare di avere la collaborazione dei militari al fine di ottenere l'approvazione per costruire più di un singolo reattore, senza suscitare ulteriori polemiche.
2. Il possibile uso militare del plutonio prodotto dal Superphenix ha implicazioni internazionali in quanto questo reattore è finanziato e costruito per una certa quota con il contributo di molti Paesi europei tra cui la Germania e l'Italia. Recentemente, in entrambi i parlamenti tedesco e italiano sono state espresse preoccupazioni su questa possibilità, presentando delle interrogazioni al governo.
3. La possibilità di usare combustibile proveniente dai reattori ad acqua leggera di La Hague ha analoghe implicazioni internazionali, poiché finora in questo impianto è stato ritrattato combustibile esaurito di provenienza per lo più estera. Questa considerazione riguarda in particolare il plutonio estratto a La Hague, che potrebbe essere trasformato in plutonio ad alto potenziale militare mediante il Superphenix, o arricchito con tecnologie laser. Ma riguarda anche il trizio o i vari isotopi di interesse militare che vengono recuperati ritrattando il combustibile esaurito dei reattori ad acqua leggera o di quelli autofertilizzanti.

In conclusione, per quanto concerne i fabbisogni e la produzione di materiali per costruire armi nucleari, la situazione francese potrebbe diventare un caso esemplare per l'esame dell'interazione tra programmi nucleari civili e militari, con considerevoli implicazioni sulla credibilità delle politiche di non proliferazione.

TABELLA 1

## PRINCIPALI LABORATORI ED IMPIANTI GESTITI DAL DAN-CEA

Laboratorio/impianto	Personale (1977)	Tipo di attività
Liwell	809	Fisica, neutronica, idrodinamica,...
Vaujours	813	Ricerche sui deutoni
Bruyère-Le-Châtel	2.054	Termodinamica,...
Valduc-Moloy	1.044	Tecnologia e metallurgia dell'uranio e del plutonio. Assemblaggio di masse subcritiche, riflettori,...
CESTA (Landes)	814	Assemblaggio e manutenzione di bombe H
Ripault	667	Assemblaggio e manutenzione di bombe A
Villacoublay	486	Collaudo delle armi
CEP (Oc. Pacifico)		

## PRINCIPALI IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI MATERIALI PER ANNI NUCLEARI GESTITI DALLA COGERA

Impianto	Personale (1977)	Tipo di attività
Miramas	49	Arricchimento del litio-6
Pierrelatte	2.558	Arricchimento dell'Uranio-235
Marcoule	1.728	Produzione del plutonio (reattori G1, G2 e G3) Estrazione del plutonio (impianto di ritrattamento UPI) Produzione di trizio (reattori Céliestin 1 e 2) Trattamento di scorie altamente radioattive

Fonte: Yves Henaff, "Les armes de destruction massives et la politique de défense française". PRI 79/BD, 1979, pag. 75.

TABELLA 2

## IMPIANTI FRANCESI PER IL RITRATTAMENTO DEL COMBUSTIBILE COSTITUITO DA URANIO METALLICO

Località	Marcoule	La Hague
Denominazione dell'impianto	UPI	UP2
Data di avvio	1958	1967
Capacità di ritrattamento	800-1000 t/anno	400 t/anno
Materiale ritrattato complessivamente (fino al 1981)	12.000 t	3.900 t
Media annuale	500 t/anno	260 t/anno

Fonte: J. P. Mégy, in *Energie et Société: le choix des énergies et ses implications socio-économiques*, Pergamon Press, Paris, 1982, p. 189.

TABELLA 3

REATTORI FRANCESI PER LA PRODUZIONE DI PLUTONIO E TRIZIO											
Reattore	Sito	Data di avvio	Data di chiusura	Potenza termica	Potenza elettrica	Combustibile	Moderatore	Raffreddamento	Pu/anno	T/anno	
Reattori Militari	G1	Marcoule	1956	1968	42	7	U-nat	Grafite	Aria	10*	-
	G2	Marcoule	1958	1980	240	40	U-nat	Grafite	CO <sub>2</sub>	45*	-
	G3	Marcoule	1958	(1983)	240	40	U-nat	Grafite	CO <sub>2</sub>	45*	-
	Celestin 1	Marcoule	1967		200	--	Pu-AI	D <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O	80 <sup>+</sup>	1000 <sup>+</sup>
	Celestin 2	Marcoule	1968		200	--	Pu-AI	D <sub>2</sub> O	D <sub>2</sub> O	80 <sup>+</sup>	1000 <sup>+</sup>
Reattori di riserva	EDF-1	Chinon	1963	1973	300	70	U-nat	Grafite	CO <sub>2</sub>	60*	-
	EDF-2	Chinon	1964	(1985)	850	210	U-nat	Grafite	CO <sub>2</sub>	160*	-
	EDF-3	Chinon	1966	(1988)	1560	400	U-nat	Grafite	CO <sub>2</sub>	300*	-
Reattori veloci	Rapsodie	Cadarache	1967	1982	40	--	PuO <sub>2</sub>	-	Na	-	-
	Phenix	Marcoule	1973		560	235	PuO <sub>2</sub>	-	Na	115**	-
	Superphenix	Creys-Malville	(1984)		3000	1200	PuO <sub>2</sub>	-	Na	330**	-

\* stima prudente

\*\* plutonio prodotto nel mantello

+ uso specifico