

L'uranio arricchito dell'Iran

Alessandro Pascolini
Università di Padova

Una delle maggiori incognite relative alle capacità nucleari dell'Iran è la sorte delle sue riserve di esafluoruro di uranio arricchito al 60% nella componente fissile uranio-235 (U235). Gli ultimi dati certi risalgono alla relazione dell'Agenzia atomica di Vienna (IAEA) del 31 maggio 2025, che riferiva di una quantità di 604,4 kg di esafluoruro di uranio (UF6) arricchito al 60%, contenente 408,6 kg di uranio arricchito (U60%).

Dopo i bombardamenti americani dei siti del programma nucleare iraniano a Natanz, Isfahan e Fordo della notte del 21 giugno 2025 (operazione Midnight Hammer) si sono succedute dichiarazioni contraddittorie da parte degli USA sulla distruzione o sopravvivenza delle scorte di uranio arricchito; la IAEA non ha potuto compiere ispezioni, ma il suo direttore generale Rafael Grossi ha indicato lo scorso 9 marzo che la metà della scorta si potrebbe trovare nei tunnel sotterranei del complesso nucleare di Isfahan. Il governo iraniano preferisce mantenere la massima ambiguità in proposito.

L'eliminazione di tale materiale compariva fra le motivazioni della guerra scatenata da Israele e USA lo scorso 28 febbraio (Operation Epic Fury); Trump nel suo messaggio del primo aprile scorso ha più volte richiamato il problema nucleare iraniano e, il 30 marzo, il segretario di stato Marco Rubio indicava come obiettivo primario dell'operazione americana che "il regime iraniano non possa mai avere armi nucleari".

Tuttavia, lo scorso 8 aprile il segretario della guerra Pete Hegseth dichiarando il pieno raggiungimento di tutti gli obiettivi dell'operazione non ha inserito nell'elenco l'eliminazione delle capacità nucleari iraniane, e in particolare delle riserve di uranio arricchito. Eppure, i negoziati in Pakistan dell'11 e 12 aprile sono falliti proprio sulle questioni nucleari iraniane, come ha confermato il vicepresidente James David Vance: "la semplice realtà è che abbiamo bisogno di vedere un impegno esplicito che [gli iraniani] non cercheranno di ottenere un'arma nucleare e che non cercheranno gli strumenti che consentirebbero loro di raggiungere rapidamente un'arma nucleare", e quindi in primis l'uranio arricchito. Ciò fa pensare che le scorte di U60% risultino ancora nella disponibilità dell'Iran.

Bombe con uranio arricchito al 60%?

La via canonica per un arsenale nucleare è la creazione di una significativa disponibilità di uranio arricchito a oltre il 90% (WGU), 20-25 kg del quale sono sufficienti per realizzare una bomba dell'energia di una decina di kton (come quella su Hiroshima).

Se l'Iran dispone di (o può costruire) una cascata di un centinaio di centrifughe nascosta in qualche capannone nel paese, le sue riserve attuali di U60% possono produrre in poche settimane WGU sufficiente per otto-dieci testate nucleari. Il passo successivo richiede la conversione dell'UF6 in uranio metallico e la sua lavorazione metallurgica in una forma adatta alle armi; la struttura per la conversione e la metallurgia dell'uranio realizzata presso il sito di Isfahan è stata distrutta, ma un laboratorio può venir costruito in segreto.

Infine, è ragionevole ritenere che siano sopravvissute in Iran sufficienti competenze nucleari scientifiche e tecniche per la confezione degli ordigni, nonostante gli assassinii mirati di scienziati operati da Israele.

Accanto a questa via canonica alle armi nucleari, alcuni osservatori hanno ricordato che si possono realizzare esplosioni atomiche anche con uranio arricchito a tassi inferiori

all'ideale del WGU , a prezzo di una minore efficienza; già la bomba "little boy" che distrusse Hiroshima impiegava uranio con un arricchimento medio dell'81% ed ebbe un'efficienza attorno all'1,3%. Sono stati dunque ripresi studi condotti nel contesto del problema del terrorismo nucleare per esaminare la possibilità di ordigni con appunto uranio arricchito al 60%.

La presenza di una significativa quantità di uranio-238 (l'isotopo principale dell'uranio naturale – U238) nel nocciolo esplosivo ha due effetti negativi principali: il più importante è che riduce la probabilità che l'interazione dei neutroni con i nuclei del materiale fissile produca una fissione, liberando nuovi neutroni per la reazione a catena; il secondo effetto è che aumenta enormemente il rischio di predetonazione a causa di eventi di fissione spontanea, 1000 volte più frequenti in U238 rispetto a U235.

Ricordiamo che i processi elementari di interazione fra neutroni e nuclei sono di natura quantistica e quindi caratterizzati da probabilità di occorrenza, probabilità che conviene caratterizzare mediante "sezioni d'urto", grandezze misurate in unità chiamate barn. L'enorme numero di processi elementari prodotti rende di fatto le probabilità elementari a livello microscopico frequenze effettive a livello macroscopico.

Nonostante l'uranio metallico sia particolarmente denso, i nuclei atomici sono così piccoli che un neutrone emesso all'interno dell'uranio "vede" lo spazio pressoché vuoto con rari nuclei dispersi: ha così la possibilità di percorrere un tratto significativo prima di interagire con un nucleo, un "cammino libero medio": se questo supera il raggio del materiale il neutrone viene perduto.

Nell'interazione neutrone-nucleo possono avvenire molteplici processi: qui interessa distinguere l'assorbimento con fissione dai processi alternativi. La differenza dell'U238 rispetto all'U235 emerge dal confronto delle corrispondenti sezioni d'urto per neutroni dell'energia rilevante

sezioni d'urto (barn)	U235 puro	U238 puro	U60%
fissione	1,24	0,100	0,784
processi alternativi	4,52	6,098	5,151

Già da questi dati sintetici si evince come la fissione sia sempre un processo sfavorito rispetto a quelli alternativi; mentre la creazione di una reazione a catena esplosiva è comunque affrontabile con l'U235, ciò è totalmente impossibile nell'uranio naturale, e le prospettive peggiorano notevolmente se l'arricchimento si riduce al 60%. Va inoltre osservato che diminuisce anche il numero medio di neutroni generati nella fissione da 2,57 in U235 a 2,55 in U60% a 2,28 in U238, impoverendo la densità neutronica nel materiale fissile.

Per poter avere una sufficiente frazione di neutroni che producano fissione occorre un adeguato volume (e quindi massa) di materiale fissile a seconda del suo arricchimento; le masse critiche per una reazione esplosiva di una sfera di uranio arricchito crescono da 52 kg per U235 puro a circa 120 kg per materiale arricchito al 60%.

Per ridurre la massa critica si circonda il nucleo fissile con uno spesso guscio di materiale inerte che rifletta nel nucleo parte dei neutroni che ne erano sfuggiti, in modo da aumentare le fissioni. Questo rivestimento (tamper – borraggio) ha un ruolo aggiuntivo: la sua stessa inerzia ritarda l'espansione del materiale fissile. Infatti, al procedere della reazione, viene liberata energia in quantità crescente che riscalda il materiale a temperature sempre più alte, fino a farlo passare dalla fase solida a quella liquida, per poi vaporizzarlo e

infine trasformarlo in un plasma; la densità del materiale e, conseguentemente, la frequenza degli urti neutrone-uranio diminuiscono, e viene meno la condizione di criticità.

A seconda della borra, la massa critica diminuisce sensibilmente: per esempio, uno strato di carburo di tungsteno (WC) spesso 3 cm riduce la massa critica di U235 puro a 11,3 kg, mentre uno di 2,5 cm di berillo permette una massa critica di soli 8,6 kg.

Calcoli eseguiti recentemente per un'arma rudimentale con innesco a incastro, del tipo "little boy", producibile anche con limitata tecnologia, impiegando uranio arricchito al 60% hanno fornito varie soluzioni con masse di materiale fissile da 35 kg in su, utilizzando borraggi di carburo di tungsteno, spessi da 25 cm a 65 cm. Per esempio, un ordigno da 40 kg di U60% con uno strato di WC spesso 55 cm avrebbe una resa di 0,81 kton TNT equivalenti, con un'efficienza del 3 per mille.

L'ordigno avrebbe una massa superiore a 10 tonnellate e richiederebbe un container per venir trasportato: si tratta quindi di un sistema analogo a quelli a suo tempo considerati come possibili per attacchi terroristici nucleari, ben lontano da una "bomba" lanciabile da un missile. Di fatto l'effetto sarebbe analogo all'esplosione avvenuta nel porto di Beirut nel 2020 (dovuta alla combustione di 2750 t di nitrato d'ammonio), ben lontano dalla distruzione associata a un attacco nucleare. Per raggiungere una resa di una decina di kton servirebbero almeno 60 kg di U60% con adeguati tamper, una quantità elevata del prezioso materiale fissile.

Anche se fattibili, ordigni con U60% rimangono quindi nell'ambito del terrorismo nucleare più che in quello di un progetto nucleare statale, per il quale le scorte di U60% vanno invece considerate come uno stadio avanzato nella prospettiva dell'arricchimento a WGU.

Nella presente fase dei rapporti internazionali basata sul "diritto del più forte" e di minacce nucleari, in molti paesi, finora forti sostenitori della non-proliferazione, si stanno rafforzando pulsioni per una difesa nucleare propria in assenza di garanzie di copertura da un alleato veramente affidabile. Si capisce quindi come le scorte iraniane di U60% possano venir considerate una risorsa cruciale per la sicurezza del paese, attaccato per due anni consecutivi da Israele e degli USA, entrambi potenze nucleari.

Finché permane la possibilità che le scorte di U60% siano effettivamente a disposizione dell'Iran, questo paese rimane di fatto una 'potenza nucleare latente', e può mirare a una possibile condizione di deterrenza nucleare rispetto a Israele.

Nell'interesse della sicurezza mondiale – e dello stesso Iran – occorre sperare che i negoziati in corso con gli USA portino alla diluizione delle scorte di U60% a tassi impiegabili in reattori elettronucleari e a un programma nucleare iraniano puramente civile, a fronte di necessarie garanzie di sicurezza per il paese. L'assenza di una soluzione positiva della questione nucleare iraniana costituirebbe un'ulteriore gravissima minaccia per la stessa sopravvivenza del Trattato di non proliferazione, che affronta nelle prossime settimane la sua delicatissima undicesima conferenza di revisione.

Padova 17 aprile 2026