

Sicurezza internazionale

Articolo di giornale

Articolo *“L’operazione Midnight Hammer e il Trattato di non proliferazione nucleare”* di Alessandro Pascolini, pubblicato il 07/07/2025 su *Scienza in rete*.
<https://www.scienzainrete.it/articolo/loperazione-midnight-hammer-e-trattato-di-non-proliferazionenucleare/alessandro-pascolini>

L’articolo prende spunto dagli attacchi statunitensi del giugno 2025 contro alcuni impianti nucleari iraniani per approfondire il funzionamento del Trattato di non proliferazione nucleare (TNP) e il rapporto tra il diritto degli Stati a utilizzare pacificamente l’energia nucleare e gli strumenti internazionali che ne rendono verificabile la destinazione civile. In particolare, viene richiamato l’articolo III del Trattato, secondo cui gli Stati non dotati di armi nucleari che aderiscono al TNP sottopongono i propri materiali nucleari alle salvaguardie dell’Agenzia Internazionale per l’Energia Atomica (IAEA).

L’articolo evidenzia inoltre un elemento importante: alcune tecnologie del ciclo del combustibile hanno carattere dual use, cioè possono avere applicazioni civili e, in condizioni diverse, anche militari. Per questo cooperazione internazionale, ispezioni e controllo dei materiali svolgono un ruolo essenziale nel garantire la trasparenza e la verificabilità degli usi pacifici dell’energia nucleare.

Introduzione

La sicurezza nucleare comprende anche una dimensione internazionale, che riguarda il controllo dei materiali, degli impianti e delle tecnologie utilizzati per scopi pacifici. Trattati, verifiche, sistemi di contabilità, sorveglianza e protezione fisica contribuiscono a garantire che questi strumenti rimangano destinati agli usi dichiarati e siano adeguatamente protetti. In questo quadro è importante distinguere tra non-proliferazione, che riguarda soprattutto la diffusione delle armi nucleari tra gli Stati, e nuclear security, che riguarda la protezione di materiali e impianti da azioni intenzionali.

1. La non-proliferazione e le salvaguardie internazionali

L’energia che alimenta un reattore nucleare e quella liberata da un’arma nucleare derivano entrambe da trasformazioni del nucleo atomico. Tuttavia, una centrale nucleare non può essere trasformata in una bomba. Materiali, concentrazioni, caratteristiche tecnologiche e modalità di funzionamento sono molto differenti. Allo stesso tempo, però, alcune fasi del ciclo del combustibile nucleare utilizzano conoscenze e impianti che possono avere applicazioni sia civili sia militari. Da questa caratteristica nasce il problema della **proliferazione nucleare**.

Il principale accordo internazionale in questo campo è il Trattato di non proliferazione delle armi nucleari (TNP), entrato in vigore nel 1970. Il Trattato si fonda su tre grandi obiettivi: impedire un’ulteriore diffusione delle armi nucleari, favorire la cooperazione per gli usi pacifici dell’energia nucleare e perseguire il disarmo.

Gli Stati non dotati di armi nucleari che ne fanno parte si impegnano a non acquisirle, conservando però il diritto a sviluppare applicazioni civili della tecnologia nucleare nel rispetto degli obblighi previsti dal Trattato.

A verificare che questi impegni vengano rispettati contribuisce l'**Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA)** attraverso il sistema delle **Safeguards**, o salvaguardie. Queste sono misure tecniche attraverso cui l'IAEA verifica che materiali e attività nucleari dichiarati dagli Stati rimangano destinati a scopi pacifici. Costituiscono quindi uno strumento internazionale di verifica e trasparenza sull'utilizzo dei materiali nucleari.

Una delle attività fondamentali è la contabilità del materiale nucleare. Gli Stati e gli operatori devono conoscere e registrare quantità, caratteristiche e spostamenti dei materiali presenti negli impianti. Gli ispettori dell'IAEA confrontano questi dati con le proprie verifiche, in modo simile a quanto avviene durante un controllo contabile: ciò che risulta dai registri deve corrispondere a ciò che si trova realmente nell'impianto. Possono quindi contare gli elementi di combustibile, effettuare misure con rivelatori di radiazioni e prelevare campioni da analizzare.

A queste operazioni si aggiungono tecniche di contenimento e sorveglianza. Sigilli applicati ai contenitori o alle apparecchiature permettono di verificare se vi siano state aperture o manipolazioni non autorizzate; telecamere e strumenti automatici possono invece controllare nel tempo determinate aree dell'impianto e registrare movimenti dei materiali. Questi sistemi consentono di mantenere la cosiddetta *continuity of knowledge*, cioè la continuità delle informazioni su dove si trova un materiale e su ciò che è avvenuto tra un'ispezione e l'altra.

Gli ispettori verificano inoltre la coerenza tra le attività dichiarate e quelle effettivamente svolte nell'impianto. Possono effettuare misure sui materiali, esaminare i processi e analizzare campioni ambientali, confrontando i risultati con le informazioni fornite dagli operatori e dagli Stati.

L'obiettivo non è quindi impedire agli Stati di utilizzare la tecnologia nucleare, ma creare un sistema nel quale tale utilizzo possa essere verificato in modo indipendente. È proprio questo equilibrio tra accesso agli usi pacifici e controllo internazionale a costituire uno dei principi centrali del TNP e dell'articolo di *Scienza in rete*.

2. Proteggere materiali e impianti da furti e sabotaggi

Le Safeguards riguardano soprattutto la verifica degli impegni internazionali assunti dagli Stati. La **nuclear security** affronta invece un'altra dimensione: la protezione dei materiali e degli impianti da sottrazioni, accessi non autorizzati e altre azioni intenzionali.

L'IAEA la distingue dalla *nuclear safety*, che riguarda invece la prevenzione degli incidenti e la protezione dalle conseguenze accidentali. In termini semplici, la *safety* affronta soprattutto ciò che può andare storto involontariamente; la *security* ciò che qualcuno potrebbe cercare intenzionalmente di fare.

La prima forma di protezione consiste nel controllare l'accesso ai materiali e alle zone sensibili. Gli impianti nucleari utilizzano recinzioni, aree ad accesso progressivamente più limitato, sistemi di identificazione, telecamere, sensori, porte e barriere fisiche. A questi si aggiungono personale di sicurezza, procedure e sistemi di allarme. La logica utilizzata può essere sintetizzata attraverso tre funzioni: rilevare, ritardare e

rispondere. Un tentativo di intrusione deve essere individuato; le barriere devono rallentarlo abbastanza da consentire l'intervento; infine deve essere disponibile una forza capace di rispondere.

Particolare attenzione viene dedicata ai materiali che potrebbero avere maggiore rilevanza dal punto di vista della proliferazione o della sicurezza. Le misure adottate sono proporzionate alla quantità e alle caratteristiche del materiale: non tutte le sostanze radioattive richiedono lo stesso livello di protezione.

Un elemento importante è anche la cosiddetta minaccia interna, cioè la possibilità che ad agire sia una persona già autorizzata ad accedere all'impianto. Per questo la protezione non può basarsi esclusivamente su mura e recinzioni. Controllo degli accessi, registrazione delle operazioni, separazione delle responsabilità e, per alcune attività, presenza contemporanea di più persone contribuiscono a ridurre il rischio che un singolo individuo possa agire senza essere individuato.

Le stesse precauzioni devono essere applicate durante il trasporto. Materiali nucleari e radioattivi si spostano tra miniere, impianti di conversione e arricchimento, fabbriche del combustibile, centrali, depositi e altri siti. Durante questi trasferimenti i materiali devono rimanere sotto controllo attraverso contenitori adeguati, procedure autorizzative, comunicazioni, monitoraggio e misure di protezione proporzionate al rischio. La Convenzione sulla protezione fisica dei materiali nucleari e il relativo emendamento costituiscono uno dei riferimenti internazionali in questo campo.

La cooperazione tra gli Stati è fondamentale anche quando un materiale esce dal controllo regolamentare. Dal 1995 l'IAEA gestisce l'Incident and Trafficking Database (ITDB), nel quale gli Stati partecipanti condividono informazioni su furti, perdite, possesso non autorizzato, traffici illeciti e altri episodi riguardanti materiali nucleari o radioattivi. L'analisi di questi casi permette di individuare vulnerabilità e migliorare i sistemi di prevenzione.

La sicurezza internazionale dipende quindi da un principio simile a quello già incontrato nelle altre schede: non affidarsi a un unico sistema. Contabilità, controllo degli accessi, sorveglianza, protezione fisica, sicurezza dei trasporti e cooperazione tra le autorità devono lavorare insieme.

3. Il ruolo della tecnologia nella non-proliferazione

Uno degli aspetti centrali della non-proliferazione riguarda il combustibile nucleare. Le caratteristiche del combustibile e delle tecnologie impiegate per produrlo e utilizzarlo incidono infatti direttamente sui rischi di proliferazione e sull'efficacia dei sistemi internazionali di controllo e verifica.

Per comprendere dove e come la tecnologia svolga un ruolo, è importante innanzitutto sottolineare che il combustibile normalmente utilizzato nei reattori commerciali ha caratteristiche molto diverse da quelle necessarie per l'impiego in un'arma nucleare.

L'uranio presente in natura contiene circa lo 0,7% di uranio-235, l'isotopo maggiormente responsabile della fissione nucleare. Nei comuni reattori commerciali ad acqua, il combustibile è tradizionalmente costituito da uranio arricchito a circa il 3-5% di U-235. Questo materiale viene definito uranio a basso arricchimento, o LEU (*Low Enriched Uranium*).

Per un'arma nucleare basata sull'uranio sono invece necessarie concentrazioni molto più elevate. Per convenzione, l'uranio con una concentrazione di U-235 pari o superiore al 20% è definito *Highly Enriched Uranium* (HEU), mentre il materiale comunemente indicato come *weapon grade*, e quindi idoneo alla realizzazione di un ordigno, presenta generalmente concentrazioni prossime o superiori al 90%.

Il combustibile fresco a basso arricchimento impiegato nei comuni reattori ad acqua non è quindi direttamente utilizzabile a fini esplosivi. Dal punto di vista della non-proliferazione, l'attenzione si concentra soprattutto sulle tecnologie e sugli impianti di arricchimento.

La produzione di uranio ad alto arricchimento richiede infatti capacità tecniche, apparecchiature e configurazioni operative specifiche, che possono fornire elementi utili alle attività di controllo e verifica. Più complesso è invece individuare una condizione semplice — ad esempio basata sul numero di macchinari — che consenta, da sola, di distinguere un programma civile da uno destinato ad altri scopi.

Per questo motivo, il controllo internazionale si basa su un insieme di strumenti complementari: dichiarazioni sugli impianti e sui materiali, contabilità del materiale nucleare, ispezioni, sistemi di monitoraggio e altre misure di verifica. L'obiettivo è accertare che materiali e infrastrutture dichiarati per usi civili non vengano deviati verso attività non dichiarate.

Un secondo materiale rilevante ai fini della non-proliferazione è il plutonio. Durante il funzionamento di un reattore, una parte dell'uranio-238 presente nel combustibile assorbe neutroni e, attraverso successive trasformazioni nucleari, produce isotopi del plutonio. Al termine del ciclo di utilizzo, questo materiale rimane all'interno del combustibile esaurito, mescolato ai prodotti di fissione e agli altri componenti del combustibile.

Per separare il plutonio è necessario ricorrere a specifici processi chimici di riprocessamento. Anche queste tecnologie sono quindi oggetto di particolare attenzione.

Questa caratteristica viene definita *dual use*: una stessa tecnologia può avere applicazioni civili e, se impiegata con finalità, configurazioni o processi differenti, anche applicazioni militari. Per questo alcune fasi del ciclo del combustibile, in particolare l'arricchimento dell'uranio e il riprocessamento del combustibile esaurito, sono accompagnate da specifici strumenti di controllo, trasparenza e verifica internazionale.

La tecnologia può anche essere progettata per rendere più facile il controllo. L'IAEA incoraggia il concetto di *Safeguards by Design*, cioè l'integrazione delle esigenze di verifica già durante la progettazione dell'impianto. Prevedere fin dall'inizio punti di misura, aree adatte alle telecamere, sistemi per applicare sigilli e percorsi dei materiali facilmente controllabili permette agli ispettori di svolgere più efficacemente il proprio lavoro senza interferire inutilmente con l'attività della centrale.

Anche nello sviluppo dei reattori avanzati viene considerata la resistenza alla proliferazione. L'obiettivo è progettare cicli del combustibile e sistemi che favoriscano la tracciabilità dei materiali, facilitino le verifiche e aumentino la capacità di individuare tempestivamente eventuali utilizzi non dichiarati.

A questo punto emerge chiaramente la differenza tra i tre concetti incontrati nelle schede sulla sicurezza nucleare. La safety protegge le persone e l'ambiente dagli incidenti; la security protegge materiali e impianti da atti intenzionali come furti e sabotaggi; le safeguards verificano che gli Stati rispettino gli impegni di nonproliferazione e utilizzino i materiali nucleari dichiarati per scopi pacifici.

Alla domanda **“Come si garantisce che la tecnologia nucleare rimanga destinata agli usi pacifici e sia adeguatamente protetta?”** la risposta risiede nell'integrazione di trattati internazionali, verifiche indipendenti, contabilità dei materiali, ispezioni, sistemi di sorveglianza, protezione degli impianti e dei trasporti e tecnologie progettate tenendo conto della non-proliferazione.

Il punto centrale è che l'utilizzo civile dell'energia nucleare è accompagnato da un sistema internazionale di regole, controlli e cooperazione che rende verificabile la destinazione pacifica dei materiali e contribuisce alla loro protezione.