Introduzione

Che cosa significa, concretamente, utilizzare l'energia nucleare in condizioni di sicurezza? La domanda non riguarda soltanto il funzionamento di un reattore mentre produce elettricità. Coinvolge anche ciò che accade quando viene arrestato, il controllo delle sostanze radioattive, la gestione dei materiali che rimangono dopo l'utilizzo e la protezione degli impianti e delle tecnologie da usi impropri. Per comprenderla è quindi necessario osservare l'intero percorso degli impianti e dei materiali, dalla progettazione all'esercizio, fino alla dismissione e alla gestione dei rifiuti nel lungo periodo.

La sicurezza nucleare si costruisce attraverso l'integrazione di conoscenze scientifiche, soluzioni tecnologiche, procedure operative, competenze professionali e sistemi di controllo. Ogni misura svolge una funzione specifica e si inserisce in un insieme più ampio, progettato per prevenire le anomalie, individuarle tempestivamente e limitarne le improbabili conseguenze. È un processo continuo, che accompagna l'intera vita di un impianto e che viene aggiornato sulla base dell'esperienza, della ricerca e dell'evoluzione degli standard tecnici.

Le tre schede che seguono affrontano queste diverse dimensioni per andare oltre la domanda generale «Il nucleare è sicuro?» e formulare domande più precise: **quali rischi vengono considerati? Quali metodi e quali strumenti vengono utilizzati per affrontarli? Chi controlla che funzionino? Come vengono verificate le prestazioni e aggiornate le misure di sicurezza?**

La prima scheda affronta la **sicurezza tecnologica**, ovvero descrive quali soluzioni permettono di mantenere un impianto in condizioni sicure e di affrontare eventuali guasti o eventi imprevisti. Un reattore, infatti, deve garantire alcune funzioni fondamentali: controllare la reazione nucleare, rimuovere il calore prodotto e confinare le sostanze radioattive. Queste funzioni devono essere assicurate anche in condizioni anomale e, per questo, la progettazione utilizza il principio della *difesa in profondità*: più livelli di prevenzione, controllo e mitigazione concorrono allo stesso obiettivo. Barriere fisiche, sistemi attivi e passivi, ridondanza delle apparecchiature, manutenzione, procedure e preparazione del personale fanno parte di questo sistema.

La seconda scheda riguarda la **sicurezza ambientale**, dunque come vengono protette le persone e l'ambiente durante il funzionamento degli impianti e nel lungo periodo. Il controllo delle sostanze radioattive comprende il loro confinamento e monitoraggio, e la sorveglianza dell'ambiente circostante. Aria, acqua, suolo, alimenti e livelli di radiazione sono sottoposti a misure specifiche volte a verificare il rispetto dei requisiti di radioprotezione. Un altro elemento fondamentale è la gestione dei rifiuti radioattivi e del combustibile esaurito, che richiede soluzioni differenti a seconda delle caratteristiche dei materiali e del tempo durante il quale devono essere isolati dall'ambiente.

Infine, la terza scheda tratta della **sicurezza internazionale** e descrive come si verifica che materiali e tecnologie nucleari rimangano destinati agli usi pacifici e siano protetti da furti, sabotaggi o altri utilizzi illeciti. In questo ambito operano strumenti diversi e complementari. La *nuclear safety* riguarda la prevenzione degli incidenti e la protezione dalle loro conseguenze; la *nuclear security* riguarda la protezione da azioni intenzionali; le *safeguards*, o salvaguardie, permettono di verificare il rispetto degli obblighi di non proliferazione. Trattati internazionali, contabilità dei materiali, ispezioni, sistemi di sorveglianza e protezione fisica contribuiscono insieme a rendere controllabile e verificabile l'utilizzo civile della tecnologia nucleare.

Le tre dimensioni sono strettamente collegate. Le soluzioni tecnologiche devono essere progettate, provate e mantenute; i materiali radioattivi devono essere gestiti in relazione alle loro caratteristiche; i sistemi di controllo devono poter verificare che le regole siano rispettate. Anche l'innovazione può offrire nuove possibilità per rafforzare la sicurezza: sistemi passivi, nuove configurazioni dei reattori, materiali avanzati e strumenti di monitoraggio possono contribuire a ridurre alcune vulnerabilità. Il loro contributo viene valutato attraverso analisi, sperimentazioni, verifiche e controlli, così da distinguere i benefici attesi da quelli effettivamente dimostrati.

Attraverso esempi, documenti e attività di approfondimento, l'obiettivo è comprendere come viene costruita la sicurezza nucleare e come se ne verifica l'efficacia. Conoscere il ruolo delle tecnologie, delle persone, delle istituzioni e dei sistemi di controllo permette di affrontare il tema in modo più informato e consapevole, distinguendo le affermazioni generali dagli elementi che possono essere osservati, misurati e verificati.