

## NUOVO NUCLEARE DA FISSIONE - STUDI E ACCORDI INTERNAZIONALI

Studi sul nuovo nucleare, partecipazioni e accordi internazionali/bilaterali, supporto alle Istituzioni

### Scenario di riferimento

Per lo sviluppo delle attività di ricerca nel settore del nuovo nucleare da fissione è richiesta un'analisi preventiva della situazione nazionale ed internazionale. In particolare, sono necessarie una ricognizione e una valutazione delle varie iniziative e accordi di collaborazione internazionali in corso nel campo dei sistemi nucleari innovativi e dei relativi cicli del combustibile avanzati, nonché studi di inquadramento internazionale su cui innestare un programma nazionale volto alla riapertura dell'opzione nucleare in Italia. In questo contesto è altresì opportuno effettuare analisi costo-benefici sia in funzione della domanda energetica interna, in relazione alla situazione internazionale, sia in funzione delle varie possibilità di produzione dell'energia nucleare, in relazione alle tecnologie già disponibili o in fase di sviluppo. Altri aspetti da valutare sono quelli relativi al "siting and commissioning", al ciclo del combustibile, ai rifiuti radioattivi prodotti, all'accettabilità da parte dell'opinione pubblica, alla capacità di valutare i vari sistemi dal punto di vista della loro resistenza alla proliferazione ecc. Lo sviluppo di tali studi richiede una partecipazione attiva ai comitati e gruppi di lavoro internazionali (e.g.: EURATOM, OECD-NEA, IAEA, INPRO, Generation IV International Forum-GIF, Global Nuclear Energy Partnership-GNEP ecc.) e alle iniziative nazionali ed internazionali in materia di:

- definizione dei programmi di ricerca comunitari sinergici con i programmi nazionali;

- sicurezza, protezione fisica e salvaguardie nucleari;
- produzione di normativa tecnica ecc.

Lo sviluppo di dette attività richiede il contributo di diverse competenze, sia tecnico-scientifiche, appartenenti al settore della Ricerca e dell'Industria (Enti, Università e Industrie), sia politico-amministrative, appartenenti al settore Istituzionale (Ministeri, Autorità di Controllo ecc.). L'ENEA, riferimento per il Paese in tema di R&S sul nucleare da fissione, deve farsi carico dell'integrazione fra le varie competenze e soggetti coinvolti ed assicurare, nel contempo, la funzione di Advisor verso le Istituzioni ed i Ministeri che richiedono supporto nella definizione della policy nazionale nel campo dell'energia nucleare.

### Obiettivi

I temi individuati per la prima annualità, ma destinati ad essere trattati e sviluppati anche negli anni successivi, riguardano:

- Ricognizione/valutazione iniziative ed accordi internazionali
- Studi di scenario
- Applicazione di metodologie per valutare la resistenza alla proliferazione e la protezione fisica dei sistemi innovativi
- Costo del kWh nucleare e studi economici su reattori di media/piccola taglia

- Metodologie per la separazione dei rifiuti al fine di consentire la loro minimizzazione
- Partecipazione a comitati internazionali (NEA, IAEA, EURATOM ecc.)
- Supporto al Ministero dello Sviluppo Economico per il coordinamento della partecipazione nazionale a progetti ed accordi internazionali.

## Risultati

Nel corso del primo anno, intensa è stata la partecipazione ai comitati internazionali; è stata, inoltre, condotta un'approfondita analisi delle più importanti iniziative. Le tematiche riguardanti gli studi di scenario, il controllo della proliferazione e gli studi economici sono state affrontate nell'ottica di porre le basi per le attività di maggior dettaglio che dovranno essere svolte negli anni successivi.

### Ricognizione/valutazione delle iniziative e degli accordi internazionali

L'ENEA partecipa ai programmi internazionali di ricerca e sviluppo sul nuovo nucleare da fissione e ciò consente di effettuare approfondite ricognizioni e valutazioni tecnico-economiche delle varie iniziative e collaborazioni internazionali in corso o in via di definizione (GEN-IV, GNEP, INPRO, SNETP ecc.). La pubblicazione ENEA "Nucleare da fissione: stato e prospettive" (a cura di S. Monti, con contributi di P. Agostini, F. De Rosa, G. Gualdrini, A. Lantieri, A. Luce, S. Migliori, F. Padoani, R. Tinti, F. Troiani, F. Vetraino, collana "Focus: Sviluppo Sostenibile 2008"), raccoglie gli elementi fondamentali dell'attività svolta.

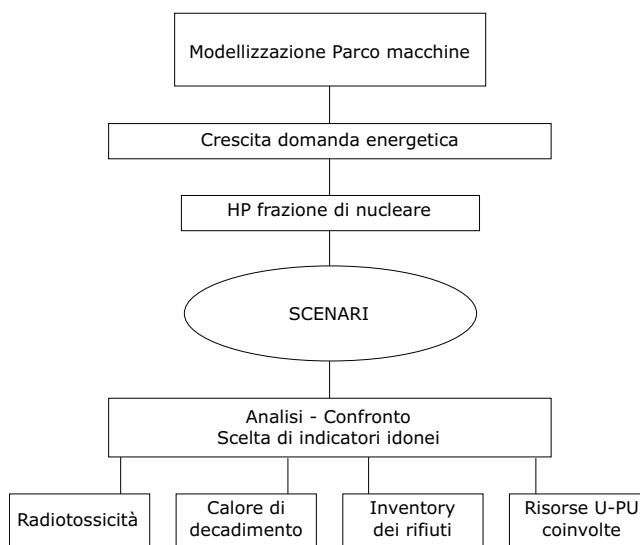


### Studi di scenario

Nell'ambito della partecipazione all'Expert Group "Fuel Cycles Transition Scenarios Studies - FCTS" del Working Party on Scientific Issues of the Fuel Cycle della NEA e della collaborazione ENEA - CEA, sono stati eseguiti studi di benchmarking (con il codice di scenario francese COSI6) riferendosi a scenari europei e nazionali. Ciò ha consentito di mettere a punto il metodo con cui sono stati analizzati 3 scenari di transizione:

1. ciclo aperto per un parco reattori di tipo PWR
2. "monoriciclo" del Pu per un parco reattori di tipo PWR
3. "monoriciclo" del Pu per un parco reattori di tipo PWR con successivo impiego di reattori veloci di quarta generazione in grado di riciclare Pu ed attinidi minori.

Il lavoro svolto da CIRTEN ha consentito di individuare la metodologia più idonea da adottare per le analisi di scenario. Il modello semplificato utilizzato si riferisce al Belgio, ma la metodologia messa a punto sarà utilizzata per analizzare uno scenario nazionale.



*Schema a blocchi semplificato della metodologia adottata da CIRTEN nelle analisi di scenario*

## **Applicazione di metodologie per valutare la resistenza alla proliferazione e la protezione fisica dei sistemi innovativi**

La valutazione della resistenza alla proliferazione avviene attraverso le metodologie internazionali INPRO e quella sviluppata nel Proliferation Resistance & Physical Protection (PR&PP) Working Group di GIF. Sono state indagate le due linee di attività su cui è attualmente impegnato il gruppo PR&PP: la finalizzazione di un caso studio su un ipotetico sistema innovativo per testare la metodologia e la futura applicazione di questa a sistemi di quarta generazione. Il sistema utilizzato come caso studio è un ipotetico reattore veloce raffreddato a sodio (ESFR – European Sodium Fast Reactor) assieme ad una porzione di ciclo del combustibile. La resistenza alla proliferazione è stata valutata a fronte di quattro scenari: diversione, uso improprio degli impianti e processi, furto di materiale e dichiarata volontà di uno Stato di dotarsi di armi nucleari. Sono state considerate varie configurazioni del nocciolo dell'ESFR per valutare la sensibilità della metodologia.

La metodologia, una volta dimostratasi affidabile e robusta, potrà rappresentare per i progettisti dei vari sistemi di quarta generazione un efficace tool che permetterà di inserire, già nelle primissime fasi di progetto, elementi volti ad aumentare le caratteristiche di non proliferazione nel modo più efficiente e meno costoso. Per facilitare questo processo, si sono costituiti recentemente dei team tra i membri del gruppo di lavoro PR&PP e degli steering committees dei vari sistemi: il primo compito sarà la caratterizzazione dei sistemi in termini di non proliferazione e protezione fisica. L'ENEA fa parte del team che si occupa del Lead Fast Reactor.

## **Costo del kWh nucleare e studi economici su reattori di media/piccola taglia**

Il lavoro congiunto ENEA – CIRTEC ha consentito di mettere a punto un primo strumento di analisi,

che include tanto una mass flow analysis, quanto una stima delle grandezze economico-finanziarie, relativo a diversi scenari di deployment di un parco di generazione di energia nucleare nel nostro Paese. Per ogni scenario è stato stimato il profilo temporale del fabbisogno dei materiali critici e del fabbisogno finanziario per coprire l'investimento. Questo lavoro di analisi offre un metodo di confronto di due categorie di reattori: il procedimento di analisi considera dapprima scenari ipotizzanti unicamente la tipologia EPR, poi casi comprendenti un mix di reattori EPR e moduli IRIS.

L'analisi evidenzia come i consumi di uranio naturale e zirconio, entrambi legati alla fabbricazione di combustibile nucleare, aumentino quando reattori di tipologia IRIS vengano inclusi in un parco-reattori nazionale, rispetto all'utilizzo di soli reattori di grande taglia come l'EPR. Allo stesso modo, il maggiore fabbisogno specifico di acciaio di IRIS comporta una richiesta maggiore di questo elemento strutturale nel periodo di commissioning di un parco-reattori misto. Al contrario, il fabbisogno di rame, presente solamente nella tipologia EPR, si riduce quando alcuni EPR nel parco-reattori vengano sostituiti da moduli IRIS.

A livello economico, gli scenari misti appaiono penalizzati da un costo specifico (\$/kWe) maggiore per IRIS rispetto all'EPR, peraltro legato alla perdita di economie di scala nei costi overnight di costruzione. Gli scenari misti registrano un investimento totale maggiore degli scenari relativi a soli EPR. Tuttavia, occorre ricordare che l'analisi offerta dal codice DESAE non può considerare i vantaggi legati alla flessibilità intrinseca degli investimenti modulari tipici di IRIS. Maggiore è il numero di unità-reattore, maggiore è il grado di modularità dell'investimento, con la possibilità di differire o arrestare la costruzione dei moduli-reattore nel caso di condizioni sfavorevoli. In un investimento modulare il capitale-medio a rischio è minore. Queste considerazioni devono far parte di un'analisi economico-finanziaria, insieme a considerazioni sulla redditività e sull'efficienza

della struttura di costo, espressa per esempio dal costo unitario di generazione (LUEC).

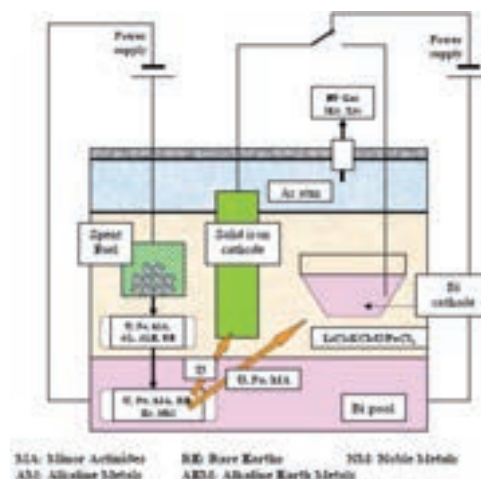
Ad integrazione di questo lavoro, il CIRTEN ha messo a punto un modello per l'analisi degli schemi di investimento per il deployment di reattori nucleari. Il modello realizzato risulta utile per la comparazione tra reattori di piccola-media taglia (SMRs) e reattori di grossa taglia e permette di simulare la profitability differenziale degli SMRs in riferimento a varie condizioni sia del mercato che di tipo operativo.

### Metodologie per la separazione dei rifiuti al fine di consentire la loro minimizzazione

Utilizzando un impianto di elettrorefinazione costruito nell'ambito di progetti comunitari di ricerca e sviluppo sulla separazione e recupero degli attinidi minori dal combustibile, sono state condotte alcune campagne sperimentali che hanno riguardato i meccanismi che regolano il trasferimento delle terre rare da un bagno di bismuto fuso operante come anodo al catodo solido immerso in bagno di sale, dal quale possono essere successivamente separati. La finalità era quella di ripulire il metallo fuso. I risultati delle campagne sperimentali hanno dimostrato che è possibile rimuovere la maggior parte dei metalli inquinanti simulanti gli attinidi minori.

### Partecipazione a comitati internazionali

L'ENEA ha svolto il ruolo istituzionale di "focal point" e di "Advisor" sul tema essendo presente nei principali comitati ed organizzazioni che si occupano di energia nucleare sia a livello nazionale che internazionale (NEA-Nuclear Energy Agency, IAEA-International Atomic Energy Agency, European Sustainable Nuclear Energy Technology Platform-SNETP ecc.). In particolare ENEA ha assicurato la presenza di rappresentanti ed esperti italiani nella quasi totalità degli Standing Commit-



Disegno schematico di un impianto di elettrorefinazione

tees della NEA (NSC-Nuclear Science Committee; NDC-Committee for Technical and Economic Studies on Nuclear Energy Development and the Fuel Cycle; CSNI-Committee on the Safety of Nuclear Installations; RWMC-Radioactive Waste Management Committee; CRPPH-Committee on Radiation Protection and Public Health, NLC-Nuclear Law Committee) oltre che esprimere un rappresentante nazionale nello Steering Committee ed in un numero elevato di Technical Working Groups (TWG) permanenti dell'IAEA. Ricercatori ENEA sono anche presenti come rappresentanti italiani e/o esperti per "G8 Nuclear Safety and Security Group", "Comprehensive Test Ban Treaty (CTBT) Radionuclide Expert Group", Proliferation Resistance&Physical Protection (PR&PP) di GIF, European Security Research and Innovation Forum (ESRIF).

### Documentazione disponibile

I documenti tecnici che riportano i risultati delle attività e delle ricerche sono consultabili sul sito [www.enea.it](http://www.enea.it).