



FUKUSHIMA: PAROLA FINE SULLA «RINASCITA» NUCLEARE?

The consequences of the Fukushima disaster will be extensive and will impact, for example, on the life of existing plants, fuel arrangements and siting criteria. The public will also be sensitised to the issues surrounding nuclear power and opposition to new facilities will inevitably be intensified. However, perhaps the most profound impact will be on the fate of the Nuclear Renaissance and Generation III advanced reactor designs.

L'incidente di Fukushima avrà conseguenze rilevanti che impatteranno, ad esempio, sulla vita degli impianti esistenti, sullo stoccaggio del combustibile e sui criteri di localizzazione dei siti. L'opinione pubblica sarà più sensibile alle problematiche connesse all'energia nucleare e, inevitabilmente, si rafforzerà l'opposizione alla costruzione di nuove centrali. Ma l'impatto più forte sarà probabilmente sul destino della «rinascita» nucleare e dei progetti di terza generazione avanzata.

Anche prima dell'incidente di Fukushima, il futuro della «rinascita» nucleare era quantomeno incerto. In nome della tanto discussa «rinascita», Paesi che sembravano aver abbandonato la generazione elettrica da nucleare sarebbero tornati ad emettere ordinativi, convinti dai meriti affibbiati ai reattori della cosiddetta terza generazione avanzata (1). Queste nuove centrali sembrerebbero garantire un maggior livello di sicurezza rispetto a quelle più datate, vantaggio a cui si unisce una minore complessità e quindi minori costi. In sostanza, si tratta di «evoluzioni» dei reat-

tori esistenti, sia nella forma di *Pressurised Water Reactors* (PWR) che di *Boiling Water Reactors* (BWR), che utilizzano acqua come refrigerante e come moderatore. I progetti di terza generazione avanzata rappresentano pertanto la transizione verso modelli radicalmente nuovi, i reattori di quarta generazione, nei quali le differenze si concentrano sui diversi materiali di raffreddamento e di moderazione, sulla conseguente maggior sicurezza degli impianti e su un più efficiente utilizzo delle riserve di uranio (considerate un vincolo alla costruzione di reattori rispondenti alle attuali configurazioni). I più importanti utilizzatori di energia nucleare hanno identificato, come punta di diamante, sei principali famiglie di reattori (2). Tuttavia, da quando per la prima volta si è cominciato a parlare di quarta generazione, i progressi sono stati trascurabili e non si sono ancora concretizzati nella commercializzazione di questi progetti.

Per i modelli di terza generazione avanzata, uno dei principali meriti era ravvisato nella loro economicità: si stimava un costo di 1.000 doll./kW, così che un reattore da 1.000 MW sarebbe costato 1 mld. doll. A fine 2010, tuttavia, gli *economics* inizialmente attesi sono cambiati ad una velocità allarmante a causa del forte

* Professore di Energy Policy e Direttore di Ricerca alla Public Services International Research Unit, Università di Greenwich
Stephen.Thomas@greenwich.ac.uk

aumento dei costi di costruzione, delle difficoltà a persuadere le autorità di sicurezza sulla bontà di questi progetti, dei problemi di costruzione dei due nuovi ordinatori in Europa che sembrano non volgere al termine.

Potrebbero volerci anni, se non decenni, prima che l'impatto del disastro di Fukushima possa perdere la sua forza d'urto. L'industria nucleare ha provato a classificare Chernobyl come conseguenza dell'utilizzo irresponsabile di un modello profondamente imperfetto come quello sovietico, in un momento in cui l'impero stava decadendo. Tuttavia, l'effetto di quell'incidente fu un cambiamento di estrema rilevanza nella filosofia di progettazione dei reattori: ci si allontanò dal concetto di «difesa in profondità» tramite l'impiego di sistemi di sicurezza multipli che avrebbero poi portato a fare maggiore affidamento su sistemi di «sicurezza passiva». Fukushima verrà ricordata da alcuni come un evento che ha scosso solo le zone colpite dal terremoto, ma il fatto che anche un Paese a tecnologia avanzata quale il Giappone possa essere colto di sorpresa ed in modo così devastante significa che quell'incidente avrà conseguenze di portata simile a quelle di Chernobyl.

Nel momento in cui si scrive (metà aprile), la crisi nipponica è tutt'altro che sotto controllo ed esistono ancora pochi dati definitivi circa la dimensione e l'estensione del danno causato ai reattori del sito di Fukushima Daiichi.

In questo articolo esamineremo dapprima come il mondo ha reagito a questo disastro, per poi analizzare le potenziali conseguenze per i reattori in esercizio e per quelli in costruzione, nonché il modo in cui ne verranno influenzati i nuovi ordinatori e la cosiddetta «ri-

nascita» nucleare. Ci dedicheremo, infine, ad altre possibili e significative conseguenze dell'incidente senza tuttavia esaminare gli effetti sul Giappone e sulla sua industria nucleare, in quanto si tratta di un argomento complesso che merita un'analisi specifica. Finché non sarà chiaro che cosa è andato storto a Fukushima, quali problemi potranno essere identificati in altri siti e se i giapponesi accetteranno ancora di ricorrere al nucleare, una simile analisi sarebbe prematura.

1. LE REAZIONI UFFICIALI DEI DIVERSI PAESI

Molti governi hanno dovuto reagire prontamente alla notizia del disastro in Giappone per dimostrare di essere consapevoli della situazione. Tuttavia, altri Paesi, in particolare quelli impegnati in nuove costruzioni, come Stati Uniti, Polonia e Francia, hanno dichiarato che Fukushima non avrà alcun impatto sui loro piani nucleari.

L'Italia è particolarmente sensibile all'incidente di Fukushima per due ordini di ragioni: perché è una zona ad elevata attività sismica e per via dei tentativi del governo Berlusconi di sovvertire il risultato del referendum del 1987 che portò alla chiusura dei quattro reattori all'epoca esistenti e all'abbandono della costruzione di una nuova centrale. Prima dell'incidente in Giappone, era stato indetto un referendum per il 12 giugno 2011 volto a decidere se si poteva procedere con la ripresa degli ordinatori nucleari. Il referendum si farà ma, dopo qualche dichiarazione contrastante dei diversi ministeri, il 23 marzo scorso è stata approvata una legge che congela per un anno l'eventuale riavvio degli ordinatori.

Dato che per il prossimo anno sembrano essere in agenda poche decisioni importanti, non è chiaro quale sarà l'impatto di questa legge⁽³⁾. Tuttavia, è molto probabile che sia proprio il referendum di giugno ad avere l'effetto maggiore. Il verdetto del 1987 venne pesantemente influenzato dal disastro di Chernobyl verificatosi appena un anno prima; sarebbe una «ironica» coincidenza che l'opzione nucleare venisse nuovamente bocciata in via referendaria sulla scia di un nuovo grave incidente nucleare.

Come l'Italia, anche la Germania sta tentando di modificare la sua precedente politica di uscita graduale dall'energia nucleare, ma in questo caso la direzione seguita è quella di prolungare la vita degli impianti rimasti in esercizio. È invece remota la possibilità di nuovi ordinatori. Il Cancelliere Angela Merkel ha sospeso per tre mesi i piani volti ad estendere la vita utile delle centrali esistenti e i sette reattori entrati in esercizio prima del 1980 sono stati temporaneamente chiusi⁽⁴⁾. Questa decisione è stata vista da molti come una mossa dettata dalla paura di perdere le elezioni che si sono tenute lo scorso 27 marzo. In effetti, il partito della Merkel è andato male e ha perduto il governo del Baden-Württemberg, regione che la *Christian Democratic Union* (CDU) controllava dal 1953. Dopo le elezioni, sembra che la Merkel abbia cambiato opinione riguardo al nucleare e che ora intenda accelerare i piani per chiudere le centrali tedesche⁽⁵⁾.

Il Regno Unito è all'avanguardia nella «rinascita» nucleare dal momento che l'ex Primo Ministro Blair ha sovvertito la precedente politica governativa che osteggiava la strada verso nuovi impianti. La coalizione governativa eletta

nel 2010 ha continuato nella direzione di stimolare nuovi investimenti nucleari nonostante il partito Liberal Democratico, alleato della coalizione, abbia manifestato durante le elezioni la sua posizione anti-nuclearista. Il Ministro per l'energia Chris Huhne (Liberal Democratico) ha subito incaricato l'Autorità di regolazione per la sicurezza di redigere un rapporto in cui sottolineare gli insegnamenti che il Regno Unito dovrebbe trarre da Fukushima, presentando una versione preliminare a maggio e quella definitiva a settembre 2011 (6). All'interno dei Liberal Democratici, tuttavia, si avverte mancanza di coesione con Huhne che accusa Nick Clegg, alla guida del suo stesso partito, di aver agito come «un pollo privo di cervello» quando ha suggerito di abbandonare il programma nucleare in ragione del previsto aumento dei costi conseguente all'incidente di Fukushima (7).

La reazione è stata forte anche a livello di *Unione Europea* (UE) e il 15 marzo 2011 la Commissione ha annunciato di voler eseguire «stress test» sui reattori dell'area (8). Questi test dovrebbero essere su base volontaria e gestiti dalle autorità nazionali per la sicurezza. L'obiettivo è quello di determinare se i 153 reattori dell'UE sono in grado di resistere a terremoti, tsunami ed attacchi terroristici. Questa decisione sembra più mirata a impressionare l'opinione pubblica che non incentrata sull'esecuzione di test seri e rigorosi sulla sicurezza; a decidere sono stati i ministeri che per la prima volta hanno usato il termine «stress test» anche per la generazione nucleare, mentre l'uso che se ne era fatto fino a quel momento riguardava esclusivamente la verifica dell'affidabilità delle banche. È

diventato presto evidente che nessuno aveva idea di come si costruisse uno «stress test» specifico per questo scopo. Resta poi da valutare l'omogeneità di esecuzione e il loro grado di credibilità. Se nessuno degli impianti verrà «bocciato» o lo saranno tutt'al più quei pochi comunque prossimi alla chiusura, l'opinione pubblica giudicherebbe con scetticismo la rigidità dello strumento usato; inoltre, se i reattori di un dato Paese superano i test ed altri no, potrebbero emergere dubbi circa il fatto che le autorità nazionali abbiano utilizzato test che rispondevano a criteri omogenei.

Cina e India alimentano le speranze dei fornitori di tecnologia nucleare in quanto è da queste aree che proviene la maggioranza degli ordinativi che verranno allocati nel prossimo decennio. Per trent'anni, questi Paesi hanno progettato una massiccia espansione dell'energia nucleare, il che rappresenta un'ottima opportunità per i venditori occidentali. Le ambizioni indiane devono ancora tradursi in ordinativi su larga scala, mentre la Cina ha già cominciato a commissionare un elevato numero di reattori: da inizio 2008 ha avviato la costruzione di circa 25 nuove centrali, gran parte delle quali utilizzano componenti e tecnologia cinese.

Il Primo Ministro indiano, Manmohan Singh, ha prontamente reagito al disastro di Fukushima con azioni improntate ad aumentare l'indipendenza dell'Autorità di regolazione per la sicurezza, l'*Atomic Energy Regulatory Board*, spesso accusata di essere troppo dipendente dal Dipartimento per l'energia atomica (9). Sono pochi, tuttavia, i segnali che inducono a ritenere che il governo pensi a un diverso trend degli ordinativi. La Cina ha annunciato la sospensione dei

processi autorizzativi per i nuovi progetti la cui costruzione non è ancora stata avviata e ha ordinato controlli di sicurezza su tutti gli impianti esistenti. Rimane da verificare se il ritmo degli ordinativi ne verrà influenzato in modo consistente e quanto stringenti saranno questi controlli.

2. IMPLICAZIONI PER I REATTORI ESISTENTI

Chiaramente, sono i siti costruiti in prossimità di zone sismiche a richiedere i controlli più urgenti. Queste zone includono i Paesi che si trovano nel cosiddetto Pacific Rim come Taiwan, Cina e Corea, la costa occidentale degli Stati Uniti, il sud-est europeo e l'Iran.

Le prime notizie sull'incidente di Fukushima si sono concentrate sull'età dell'unità 1, la prima a riportare danni. Successivamente, il danno si è esteso anche ad altre unità (2, 3 e 4) che sono un po' più recenti e avanzate (Tab. 1). Al momento in cui si scrive, le unità 5 e 6 non risultano danneggiate. Nello scorso decennio, le aziende elettriche hanno profuso enormi sforzi per convincere i regolatori per la sicurezza ad estendere la vita utile dei reattori operativi dai previsti 40 anni a 60 anni o più. Questo significa che gran parte della flotta nucleare esistente su scala mondiale, e che avrebbe dovuto essere dismessa a partire da inizio 2010, ri-

Tab. 1 - LA CENTRALE DI FUKUSHIMA DAIICHI

Unità	Potenza netta (MW)	Avvio prod.	Fornitore
1	439	1970	General Electric
2	760	1973	General Electric
3	760	1974	Toshiba
4	760	1978	Hitachi
5	760	1977	Toshiba
6	1.067	1979	General Electric

Fonte: IAEA, <http://www.iaea.or.at/programmes/a2/>

marrebbe in funzione sino al 2030 circa, contribuendo ad attenuare fino ad allora il rapido declino della quota di mercato del nucleare.

È difficile trarre considerazioni generali sulle condizioni dei reattori più vecchi. Dipenderà, ad esempio, da quanto avanzato era il design originale dell'impianto e da quante revisioni di aggiornamento ha subito.

Gli Stati Uniti sono all'avanguardia in questo processo di prolungamento della vita utile degli impianti perché sono dotati di un parco reattori significativamente più datato che altrove, con circa il 45% che ha oltre 30 anni di vita (Tab. 2). Un certo numero di reattori è stato ritenuto idoneo ad operare per oltre 60 anni. I fatti di Fukushima hanno però indotto diversi Stati a mettere in discussione le decisioni in merito all'allungamento della vita utile degli impianti, come è accaduto, ad esempio, nel Vermont e a New York⁽¹⁰⁾.

In altre parti del mondo, i Paesi più esposti alla chiusura dei reattori sono quelli che contano un alto numero di impianti con oltre 30 anni di vita e/o un'elevata quota di generazione elettrica proveniente da nucleare. Tra questi, Svezia, Belgio, Francia e Stati Uniti.

3. NUOVI ORDINATIVI IN EUROPA OCCIDENTALE E NORD AMERICA

Dopo l'incidente di Three Mile Island (TMI) ci vollero cinque anni prima che fosse possibile entrare nel reattore e scoprire, non senza sorpresa, che una parte significativa del combustibile si era fuso. A Fukushima Daiichi, sono quattro i reattori colpiti e ciascuno è stato danneggiato in modo molto più serio di quanto accaduto a TMI: la diagnosi *post*

Tab. 2 - I REATTORI NUCLEARI ESISTENTI AL MONDO

	Elettr. nucleare (%)	Capacità (MW)	Unità (n.)	Capacità > 30 anni (MW)	Unità (n.)	Elettr. persa ⁽¹⁾ (%)	Capacità in costruz. (MW)	Unità (n.)
Stati Uniti	19,6	101.240	104	45.532	55	9	1.165	1
Francia	74,1	63.130	58	11.880	13	14	1.600	1
Giappone ⁽²⁾	29,2	42.275	48	8.805	13	6	2.650	2
Russia	17,1	22.649	28	7.727	11	6	9.089	9
Germania	27,3	20.490	17	7.076	7	9	0	
Corea	32,2	18.698	21	576	1	1	5.560	5
Ucraina	48,1	13.107	15	381	1	1	1.900	2
Canada	15,1	12.569	18	2.490	4	3	0	
Regno Unito	15,7	10.137	19	3.114	8	5	0	
Cina	1,8	10.058	13	0	0		27.230	27
Svezia	38,1	9.298	10	4.804	4	20	0	
Spagna	20,1	7.514	8	446	1	1	0	
Belgio	51,2	5.927	7	1.828	3	16	0	
India	2,8	4.391	20	577	4	0,4	3.564	5

(1) La percentuale di elettricità persa qualora venissero chiusi i vecchi impianti è ottenuta moltiplicando la percentuale di elettricità da nucleare per la capacità dei reattori con oltre 30 anni di età diviso la capacità complessiva dei reattori.

(2) Escluse le unità a Fukushima Daiichi.

Fonte: IAEA, <http://www.iaea.or.at/programmes/a2/>

mortem del sito sarà quindi lenta e complessa. L'impatto dell'incidente, che in prima istanza sembrava più simile a quello di TMI che non a Chernobyl, è ora chiaramente più vicino al secondo sia in termini di danni riportati agli impianti che di contaminazione delle regioni circostanti.

Negli ultimi 35 anni, quattro accadimenti di grande rilievo hanno esercitato una forte influenza sulla progettazione nucleare. Si trattava di eventi ritenuti dai progettisti di settore del tutto eccezionali e per ognuno di questi casi è occorso almeno un decennio prima che quanto appreso dal loro verificarsi venisse tenuto in debito conto nei nuovi progetti:

- nel 1975, alla centrale di Browns Ferry negli Stati Uniti, un elettricista lasciò cadere una candela accesa in una cabina di comando, appiccando il fuoco e causando la disattivazione del sistema di controllo di tutti e tre i reattori presenti nel sito. Anche se non ci sono state immediate e significative conseguenze sulla salute e sulla sicurezza ed il danno è stato relativamente semplice da riparare, l'incidente ha indotto a richiedere per i nuovi siti, a livello mondiale, siste-

mi indipendenti per ciascuna unità presente;

- nell'incidente del 1979 di TMI, relativamente al quale gli operatori pensavano che non avesse funzionato il sistema di raffreddamento del nocciolo (il che si rivelò successivamente errato, non essendo quella la causa diretta del problema), il nucleo non venne raffreddato per diverse ore con la conseguenza di una sua parziale fusione. Questo ha indotto a richiedere l'inserimento di un sistema di «difesa in profondità» cosicché se un sistema di sicurezza fallisce, si attivano uno o più sistemi indipendenti in grado di sostituirlo;

- Chernobyl ha avuto numerose implicazioni nonostante le grandi differenze esistenti tra quel tipo di tecnologia e quelle usate in Occidente. In particolare, da quel momento i sistemi di «sicurezza passiva» – che si innescano automaticamente al verificarsi di determinate condizioni e anche in caso di malfunzionamento garantendo l'arresto del reattore in sicurezza – divennero un importante requisito per i nuovi progetti;

- l'attentato dell'11 settembre 2001, nonostante non abbia coinvolto un impianto nu-

clearare, ha avuto una rilevante conseguenza sui progetti dei reattori e ha comportato il requisito che, in Occidente, le nuove centrali avrebbero dovuto resistere all'impatto di un aereo passeggeri a pieno carico. Chernobyl e TMI richiesero molto tempo per razionalizzare e comprendere quanto verificatosi, specie per la difficoltà di accedere a quei siti e di ricostruire gli avvenimenti.

Uno dei motivi alla base dei ritardi e degli aumenti di costo relativi ai programmi di costruzione dei reattori più datati era l'approvazione completa e specifica che il progetto doveva ottenere dalle autorità di regolazione per la sicurezza prima dell'avvio della costruzione. Questo ha portato Stati Uniti e Regno Unito a introdurre un programma standard di valutazione preventiva (*Generic Design Assessment - GDA*) per modello di reattore, non collegato ad uno specifico sito, in cui tutte le questioni rilevanti in termini di sicurezza sarebbero state risolte prima della costruzione. Le sole problematiche da affrontare successivamente, caso per caso, sarebbero state quelle relative allo specifico sito di riferimento, ad esempio circa il metodo di raffreddamento e i requisiti da tenere in considerazione date le caratteristiche geologiche dell'area. Questa valutazione avrebbe anche consentito alle imprese elettriche di scegliere tra progetti di reattori diversi.

Negli Stati Uniti, la valutazione standard preventiva dei progetti è stata avviata a seguito del lancio del *Nuclear Power 2010 Program* nel 2002 da parte del Presidente Bush che puntava ad avere almeno un reattore di terza generazione avanzata operativo entro il 2010. Sono stati sottoposti a valutazione cinque progetti: Toshiba-Westinghouse

AP1000 (*Advanced Passive*), General Electric ESBWR (*Economic Simplified Boiling Water Reactor*), Mitsubishi APWR (*Advanced Pressurised Water Reactor*), Areva EPR (*Evolutionary Power Reactor*)⁽¹¹⁾ e l'ABWR (*Advanced Boiling Water Reactor*) fornito sia da GE-Hitachi che da Toshiba. Prima di Fukushima, l'approvazione del primo ESBWR era attesa per il 2012 mentre in altri casi (come per esempio l'APWR) la data prevista era addirittura il 2014⁽¹²⁾. Senza l'approvazione della GDA non può essere avviato alcun lavoro di costruzione e sarebbe quindi rischioso per una utility confermare un ordinativo prima di conoscere le specifiche del progetto e il suo probabile costo.

Nel Regno Unito la GDA è stata introdotta nel 2007. Sono stati esaminati due progetti: l'EPR e l'AP1000. L'Autorità per la sicurezza britannica, la *Health and Safety Executive (HSE)*, si era proposta di completare la valutazione entro luglio 2011 e sembra determinata a raggiungere l'obiettivo. In pratica, la HSE sa che potrà dare solo un'approvazione condizionata, con alcune questioni rilevanti ancora aperte la cui soluzione richiederà forse un anno o più. Tale approvazione condizionata è però, di fatto, essenzialmente inutile perché non è chiaro quando e se verrà poi concessa l'approvazione finale e quali requisiti aggiuntivi saranno necessari

per ottenerla. Fino a quel momento, il progetto non si considera completato così che non può venir confermato alcun ordinativo e i lavori al sito non possono iniziare.

Dei progetti di terza generazione avanzata, solo l'ABWR (sempre che possa essere considerato parte di questa categoria, dato che è stato progettato intorno al 1980) è in esercizio su scala mondiale. Poiché questi ordinativi risalgono alla fine degli anni 1980, è probabile che la revisione progettuale porti ad un risultato significativamente differente rispetto alle unità oggi operative, che si trovano tutte in Giappone. Nessun altro progetto di terza generazione avanzata è in funzione o ha ottenuto l'approvazione preventiva.

In Europa sono in costruzione due EPR, ma entrambi hanno sfiorato sia il budget che i tempi inizialmente previsti. Dopo quattro anni dall'avvio dei lavori, la centrale di Olkiluoto in Finlandia ha accumulato un ritardo di quattro anni e i relativi costi sono quasi raddoppiati (+95%); l'impianto di Flamanville in Francia, a due anni dall'inizio della costruzione, presenta un ritardo di almeno due anni e ha sfiorato il budget del 50%. In entrambi i casi, le rispettive Autorità di regolazione per la sicurezza hanno permesso l'avvio dei lavori di costruzione senza completare la valutazione standard preventiva del progetto e la risoluzione di alcune questioni



specifiche è stata rimandata a costruzione avviata. Questo è uno dei fattori alla base dei ritardi, riconducibili al fatto che i progetti presentati da Areva non hanno convinto il regolatore. Le Autorità di Stati Uniti e Regno Unito stanno anche individuando alcune specifiche problematiche di progetto e i regolatori di Francia e Finlandia devono inevitabilmente tenerne conto nelle loro decisioni. Una delle questioni riguarda l'esistenza di un sufficiente livello di ridondanza nei sistemi di strumentazione e controllo (13). Alcuni problemi sono stati sollevati troppo tardi perché la soluzione finale potesse essere implementata a Olkiluoto e Flamanville, perché la parte di impianto interessata non era più facilmente accessibile e di conseguenza i due siti costituiranno dei modelli «unici».

È probabile che l'incidente di Fukushima rallenti le GDA allungandone i tempi in modo indefinito. Con quanta credibilità un regolatore può richiedere che un nuovo progetto tenga debito conto della lezione di Fukushima quando non è ancora chiaro cosa sia successo e ancora meno cosa sia necessario per garantire che ciò non risucceda? A titolo di esempio, è difficile dire se l'EPR o l'AP1000 usciranno migliorati da questo processo di revisione. L'AP1000 poggia, molto più dell'altra tipologia di reattori, su sistemi di sicurezza passiva; l'EPR, invece, poggia su sistemi meccanici che, come insegna Fukushima, possono fallire anche nel caso di una loro presenza multipla. D'altro canto però, l'EPR, a differenza dell'AP1000, è dotato di *core-catcher*, un dispositivo che consente di catturare e contenere qualsiasi fuga di combustibile nucleare fuso dal vessel. Se dovesse risultare che c'è stata una rilevante fusione

di combustibile e che i vessel non hanno funzionato, potrebbe diventare obbligatoria l'inclusione di *core-catcher* nei progetti, quel che ne innalzerebbe considerevolmente i costi. L'esito più probabile è che ad entrambi i citati modelli di reattori dovranno essere apportate significative modifiche, con conseguente aumento dei costi di costruzione, già proibitivamente alti.

Il rischio di approvare un progetto prima della completa comprensione di quanto accaduto a Fukushima è evidente osservando i casi di Olkiluoto e Flamanville, dove le problematiche sorte durante i lavori di costruzione hanno causato ritardi, aumento dei costi e l'adozione forzata di soluzioni progettuali sub-ottimali.

4. NUOVI ORDINATIVI IN ALTRE PARTI DEL MONDO

Prima di Fukushima, i Paesi al di fuori del Nord America e dell'Europa occidentale, disillusi dagli alti costi attesi dei reattori di terza generazione avanzata e convinti del necessario ricorso all'elettricità da nucleare, avevano iniziato a prendere in considerazione progetti più datati e meno avanzati ravvisando in essi la via più economica per introdurre questa tecnologia nei loro sistemi energetici. Gli Emirati Arabi Uniti (EAU), ad esempio, hanno ordinato quattro unità (APR-1400) dalla Corea. Anche se si tratta di un modello relativamente recente, il fornitore sa che non è vendibile in Europa; Anne Lauvergeon, Amministratore delegato di Areva (un commentatore tutt'altro che disinteressato) lo ha paragonato ad una macchina priva di cinture di sicurezza e di air bag (14). Ordinativi di progetti meno recenti decisi a livello politico mettono in

discussione la credibilità delle autorità di regolazione nazionali. Nel caso degli EAU, l'ordinativo è stato fatto prima che lo Stato si dotasse di un'autorità di regolazione sulla sicurezza. Se questo trend si rafforzasse, i Paesi che ne trarrebbero vantaggio sono Cina, Russia e Corea.

Questa dinamica, tuttavia, era tutt'altro che consolidata prima di Fukushima, così come i vantaggi di costo associati ai progetti di precedente generazione; inoltre, non era chiara neppure la capacità dei Paesi citati di esportare reattori. Se dall'analisi dell'esperienza di Fukushima emergerà che i progetti meno recenti sono difettosi, questo trend non si consoliderà.

5. ALTRI PROBLEMI

5.1. Responsabilità e costi di clean-up

Una delle critiche ricorrenti sollevata dagli anti-nuclearisti è che questa industria riceve un ingente ed implicito sussidio pubblico in quanto la responsabilità relativa alle conseguenze esterne di un incidente è soggetta alle leggi nazionali (come lo statunitense *Price Anderson Act* del 1957) e ai Trattati internazionali come quelli di Parigi e Vienna. Dopo un incidente, la responsabilità per il risanamento ambientale (*clean-up*) del sito ricade completamente sull'impresa elettrica: certe utility si assicurano contro simili eventualità, mentre altre non hanno invece alcun tipo di copertura assicurativa. I tetti fissati per i danni esterni variano da Paese a Paese e vanno da circa 200 milioni a 1 miliardo di euro: somme trascurabili sia rispetto al costo di un reattore (nell'ordine degli 8 mld. euro) che, in maggior misura, rispetto ai

costi associati ai danni provocati da incidenti come Chernobyl o Fukushima, la cui quantificazione può essere nell'ordine di decine o addirittura centinaia di miliardi di euro.

Il recente disastro in Giappone intensificherà le pressioni volte a rimuovere i tetti oggi in vigore perché le conseguenze finanziarie che l'utility si trova a sopportare sono ridicole rispetto all'enorme danno inflitto. Si è parlato molto del fatto che l'impresa proprietaria di Fukushima, la *Tokyo Electric Power Company* (Tepco), dovrebbe far fronte a richieste di danni nell'ordine dei 30 mld. euro. Se queste richieste venissero accolte, i Trattati vigenti avrebbero una scarsa credibilità. Se la responsabilità delle utility in caso di incidente fosse illimitata, sarebbe altamente improbabile per le imprese riuscire a sostenere la prosecuzione dell'operatività degli impianti esistenti piuttosto che ordinarne di nuovi.

Vi è stato un inasprimento delle disposizioni che gravano sulle utility relativamente al finanziamento del *decommissioning* degli impianti. Oggi, la *best practice* consiste nel chiedere all'impresa elettrica di contribuire ad un fondo cui non può accedere (*segregated fund*) e di investirlo in strumenti a bassissimo rischio come i titoli di Stato. Queste disposizioni, tuttavia, permettono alle utility di accumulare fondi anche oltre la vita attesa dell'impianto, fare affidamento per un lungo arco temporale su un tasso di interesse positivo e al contempo pianificare di posticipare il *decommissioning* anche a molti decenni dopo la chiusura del sito. Se il costo del *decommissioning* è maggiore di quello atteso, soprattutto quando l'impianto ha subito un incidente grave; se la vita dell'impianto è inferiore a quella attesa; se il *decom-*

missioning è stato avviato prima del previsto; se i fondi non fruttano gli interessi che ci si aspettava o se addirittura vengono persi in caso di investimenti errati, questi sono tutti casi in cui si potrebbe verificare una forte carenza di risorse finanziarie da destinare al *decommissioning*, il che potrebbe implicare un maggior apporto da parte dei contribuenti per sanare il deficit. Se la Tepco non può finanziare il risanamento del sito, potrebbero esservi pressioni per disposizioni sul *decommissioning* molto più stringenti di quelle attuali. Ad esempio, potrebbero venir richieste restrizioni sulla misura in cui fare affidamento sugli interessi guadagnati oppure si potrebbe imporre il mantenimento di un livello di fondi sufficienti da consentire un immediato *decommissioning* oppure l'uso di strumenti finanziari di copertura da parte delle utility così da poter sopperire ad eventuali carenze di risorse finanziarie, ad esempio in caso di incidente, imputabili a una vita operativa dell'impianto inferiore a quella attesa o al verificarsi di costi più alti del previsto.

5.2. Combustibile esausto e MOX

Per molto tempo, ci si è preoccupati della vulnerabilità del combustibile esausto presente nei siti dei reattori. Nella maggior parte dei casi, esso viene stoccato in apposite piscine (*fuel ponds*) esterne alla struttura di contenimento del reattore e poiché i programmi di riprocessamento del combustibile spento o della sua sistemazione in depositi sicuri si sono spesso rivelati fallimentari, gran parte dei siti ospita più combustibile esaurito di quanto sia stato previsto nel progetto iniziale. Gli incendi verificatisi alle piscine contenenti il combustibile esausto a Fuku-

shima richiederanno il ricorso a stoccaggi in luoghi molto più sicuri. Un aspetto particolare riguarda l'uso del combustibile che contiene plutonio separato durante la fase di riprocessamento.

Il plutonio venne inizialmente prodotto sia per uso militare che per i reattori a neutroni veloci. La modesta richiesta sia da parte dei Paesi detentori di armi nucleari che per i reattori veloci, tipologia abbandonata in diversi Paesi, fa sì che esista una grande quantità di plutonio non utilizzata (ad esempio nel Regno Unito e in Francia) e questo rappresenta un elevato rischio in termini di proliferazione e di sicurezza. Il plutonio può essere usato anche per sostituire l'uranio in alcuni reattori convenzionali sotto forma di combustibile *Mixed Oxide* (MOX), vale a dire una miscela di uranio naturale e plutonio. Se questa sia una strategia efficace è una questione tuttora aperta. Il Giappone, tuttavia, è uno di quei Paesi che ha riprocessato il combustibile (fino ad oggi è accaduto nel Regno Unito e in Francia) e ha cercato di usare le sue scorte di plutonio in MOX. A Fukushima, il MOX era presente solo in tre unità, mentre era assente nelle piscine di combustibile esausto. Se il MOX fosse stato presente in tutti i reattori danneggiati e anche nelle piscine, il *clean-up* del sito sarebbe stato molto più problematico e costoso. Potrebbe accadere che, a seguito del disastro di Fukushima, l'uso di MOX venga limitato o addirittura abbandonato.

6. CONCLUSIONI

Le conseguenze dell'incidente di Fukushima saranno di vasta portata e richiederanno decenni prima di manifestarsi

pienamente. Impatteranno, ad esempio, sulla vita degli impianti esistenti, sullo stoccaggio del combustibile e sui criteri di localizzazione dei siti. L'opinione pubblica sarà anche maggiormente sensibile alle problematiche collegate all'energia nucleare e, inevitabilmente, l'opposizione alla costruzione di nuove centrali si intensificherà.

Ma l'impatto più forte riguarderà probabilmente il destino della «rinascita» nucleare e dei progetti di terza generazione avanzata. La promessa che questa nuova tipologia di reattori possa essere più sicura, più semplice e meno costosa difficilmente verrà mantenuta. Non è facile dire in che misura è questa promessa ad aver deluso l'industria nucleare o se è l'industria nucleare stessa ad aver circuito l'opinione pubblica facendo promesse, difficili da mantenere, nella speranza di raccogliere ade-

sioni per la costruzione di nuovi impianti. Il fortissimo aumento dei costi attesi ha tuttavia messo in dubbio il futuro di questi progetti ancora prima del disastro di Fukushima. La conclusione che si può trarre dall'incidente verificatosi in Giappone è che tentare di modificare continuamente i reattori PWR e BWR per raggiungere un maggior livello di sicurezza è del tutto inutile e se l'energia nucleare avrà un futuro lo dovrà a progetti radicalmente nuovi come quelli di quarta generazione, liberi dalla camicia di forza che condiziona gli altri modelli, vale a dire l'uso dell'acqua come refrigerante e moderatore.

Le utility non sono però propense a finanziare progetti radicalmente nuovi perché non godono più dello status di monopolista che consentiva loro di trasferire sui consumatori qualsiasi costo in cui incorrevano. Investimenti non

redditizi devono oggi essere finanziati con i profitti. Anche all'interno della terza generazione avanzata, i progetti più innovativi come l'ESBWR sono molto meno allettanti rispetto ai modelli più convenzionali e più testati come l'EPR e l'ABWR. I venditori di reattori, che in passato facevano generalmente affidamento sui finanziamenti pubblici per sviluppare i nuovi progetti, saranno riluttanti a rischiare il denaro dei propri azionisti per lo sviluppo di progetti del tutto nuovi. Dal canto loro, anche i governi saranno restii a continuare a sussidiare lo sviluppo dei reattori, visto che in passato il ritorno sugli investimenti realizzati con denaro pubblico è stato decisamente misero. Il disastro di Fukushima potrebbe essere, a ragione, il colpo di grazia inferto alla «rinascita» nucleare.

Greenwich, Aprile 2011

La traduzione è stata curata da Lisa Orlandi.

NOTE

(1) Non esiste una precisa definizione di cosa si intende per progetto di terza generazione avanzata. In genere, la prima generazione riguarda i prototipi e gli impianti dimostrativi ordinati prima del 1970; la seconda generazione include gli impianti ordinati fino alla metà degli anni 1980; la terza generazione quelli ordinati fino al 2000 e la terza generazione avanzata riguarda i progetti più recenti.

(2) Per maggiori approfondimenti sulle tecnologie si veda <http://www.gen-4.org/>

(3) Adnkronos International, *Italia: Berlusconi approva la legge che sospende temporaneamente il ritorno del nucleare*, 23 marzo 2011.

(4) «Spiegel Online International», *Merkel Under Pressure Following Moratorium*, 17 marzo 2011.

(5) «Spiegel Online International», *Can Germans Trust Merkel's About-Face on Nuclear Power?*, 29 marzo 2011.

(6) <http://www.hse.gov.uk/nuclear/fukushima/statement-290311.htm>

(7) «Daily Mail», *Huhne attacks «headless chicken» Clegg over Japan*, 4 aprile 2011.

(8) Agence France Presse, *EU says «stress tests» agreed for nuclear plants*, 15 marzo 2011.

(9) «The Economic Times», *PM assures more teeth for nuke regulator*, 30 marzo 2011.

(10) «Nuclear Intelligence Weekly», *Debate Intensifies Over Aging Reactor Fleet*, 28 marzo 2011, p. 10.

(11) In Europa questo modello è noto come *European Pressurised water Reactor*.

(12) Il reattore AP1000 della Westinghouse ha ricevuto approvazione preventiva nel 2006, ma il fornitore ha successivamente posto in essere una serie di revisioni di portata tale che si dovrà attendere il 2012 prima di ricevere la relativa approvazione progettuale. Il modello ABWR aveva originariamente ricevuto l'autorizzazione nel 1997 ma la sua validità è di soli 15 anni ed è stato da poco avviato un nuovo processo di validazione la cui durata non è chiara.

(13) <http://www.hse.gov.uk/newreactors/pressurised-water-reactor.htm>

(14) «Nucleonics Week», *Lauvergeon: French lost UAE bid because of expensive EPR safety features*, 14 gennaio 2010, p. 1.