



NEL NUCLEARE IL «LOW COST» NON È ACCETTABILE

Before Fukushima, some people called for smaller, quickly-built, and cheaper nuclear reactors. After Fukushima, it is clear that nuclear energy and «low cost» cannot coexist. A nuclear reactor will never be «too sure». It will cost more, but with a nuclear kWh much cheaper than renewable one, the nuclear industry may invest millions of euros for the sake of security. How to spend it? Every nuclear plant in the world should be reviewed, ideally under the supervision of an international watchdog.

Prima di Fukushima, c'era chi voleva reattori nucleari più piccoli, più veloci da costruire e meno costosi. Ora è evidente che nucleare e «low cost» non possono coesistere. Un reattore nucleare non sarà mai «troppo sicuro». Costerà di più, ma essendo il suo kWh più economico di quello da rinnovabili, l'industria potrà investire milioni di euro per la sicurezza. Come spenderli? Ogni impianto nucleare dovrebbe essere sottoposto a revisione, idealmente sotto la supervisione di un organismo di controllo internazionale.

Quella dell'energia nucleare è l'industria che più di ogni altra ha saputo anticipare i problemi in materia di sicurezza e che ha maggiormente investito in tale ambito. Prima ancora dell'entrata in esercizio delle centrali, negli anni 1970, era già stato tutto previsto e immaginato, o almeno se ne aveva la più profonda convinzione!

Oggi, alla luce di quanto accaduto a Fukushima, e anche se l'incidente è ascrivibile ad una causa estranea alle scienze nucleari, è necessario

continuare a riflettere e chiedersi «cosa può succedere in situazioni inimmaginabili». Per contro, bisogna smettere di porsi domande del tipo: è davvero necessario spendere tanto per la sicurezza delle centrali? Non si è forse già speso troppo? Perché non puntare su centrali più piccole e meno costose? Non sono interrogativi da prendere in considerazione. Una centrale deve essere «troppo sicura». Il nucleare è una filiera dove il «low cost» non è accettabile. Non si può lesinare su qualche centinaio di milioni di euro quando si costruisce un reattore se si ritiene che questo risparmio trascuri qualche aspetto in tema di sicurezza.

1. UN MARGINE FINANZIARIO ESISTE

Il prezzo da pagare per una maggiore sicurezza è assolutamente sostenibile. Certamente, un operatore può non essere d'accordo con questa mia valutazione perché tutto ciò che fa aumentare il prezzo di un kWh non viene mai visto di buon occhio. Ma facciamo un semplice calcolo.

Tenendo conto delle fermate per manutenzione e dei tempi di carico e scarico periodico del combustibile, una centrale funziona circa 7.500 ore/anno. Su 10 anni, il numero di

* Professore onorario titolare di cattedra al Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), Parigi

kWh forniti, per una centrale di media taglia da 1.000 MW, è pari a 7.500 volte 1.000 MW, ovvero 7,5 mld. kWh.

Consideriamo ora un parco nucleare da 10 GW. Se si investe 1 mld. euro per aumentare la sicurezza del parco, il costo addizionale per kWh è facile da calcolare. Su un periodo di 10 anni è sufficiente dividere il miliardo di euro indicato per 100 volte (10 anni e 10 GW) 7,5 mld. kWh: si ottiene così 1 euro/750 kWh, ovvero il costo addizionale per kWh risulta pari a 0,13 cents euro (in Francia, dove il parco ha una capacità installata di 63 GW, il costo per kWh sarà sei volte più basso ma l'eventuale fabbisogno di investimenti nettamente più ingente).

Il costo di generazione del kWh nucleare viene generalmente stimato in 3 cents euro, se si considera l'intero ciclo di vita e quindi dall'estrazione del minerale allo stoccaggio finale delle scorie, ivi incluso il costo di *decommissioning* delle centrali alla fine della loro vita utile. Tale costo si confronta con i 13 cents euro per l'eolico offshore, gli 8 per l'eolico onshore, i 4-5 per i combustibili fossili. Di fatto, il costo del combustibile nucleare è oggi di 0,6 cents euro. Per il consumatore francese, il prezzo dell'elettricità – il 75% della quale origina dal nucleare – si aggira nell'intorno degli 11 cents euro/kWh, contro i 20 circa del consumatore italiano.

L'investimento di 1 mld. euro, traslato sul consumatore italiano, è quindi inferiore all'1% del prezzo dell'elettricità. Se si investono 10 miliardi, vale a dire più del 25% del costo di costruzione del parco da 10 GW preso ad esempio, si avrà ancora un kWh competitivo rispetto a quello delle centrali a combustibili fossili e due volte meno costoso del kWh eolico.

Ovviamente, nel caso dell'Italia, bisognerebbe anche tener conto del margine che si verrebbe a guadagnare se il Paese potesse così ridurre il suo deficit commerciale energetico che nel 2010 ha superato i 50 mld. euro. L'Italia importa, infatti, circa 45 mld. kWh l'anno, il che significa una fattura energetica da diversi miliardi di euro. L'allora Ministro dello Sviluppo Economico Claudio Scajola, in un discorso tenuto a Parigi nell'ottobre 2008 in occasione di una riunione dell'OCSE, aveva quantificato in 50 mld. euro le perdite dirette ed indirette associate all'uscita dell'Italia dal nucleare.

Disporre di un margine, quindi di una riserva finanziaria, non significa che bisogna a tutti i costi spenderla! Ma ricordiamoci che se sussiste un'effettiva necessità di aumentare gli investimenti per la sicurezza, lo si può fare senza sconvolgere l'equilibrio economico nazionale.

Precisiamo ancora una volta che stiamo parlando di misure di sicurezza addizionali, in una filiera energetica in cui le preoccupazioni in materia hanno già portato a significativi progressi. Tuttavia, si può ancora dire «quello che è stato fatto non basta», soprattutto quando ci si trova di fronte a circostanze eccezionali come la recente tragedia del Giappone.

2. THREE MILE ISLAND, CHERNOBYL E L'11 SETTEMBRE

Negli anni 1970, prima dell'entrata in funzione delle centrali nucleari, veniva preso in considerazione quello che sembrava essere l'incidente impossibile, vale a dire la fusione del nocciolo. Che cosa è stato fatto all'epoca in previsione di questo improbabile ri-

schio? È stata adottata la politica delle «tre barriere di contenimento». Nello specifico:

(1) il combustibile di uranio, sotto forma di ossido, viene incapsulato in una guaina in lega di zirconio, in modo che non abbia alcun contatto fisico o chimico con l'esterno, vale a dire con i fluidi che controllano la reazione nucleare e quelli che consentono di evacuare all'esterno il calore generato nel nocciolo;

(2) le barre di combustibile assemblate sono racchiuse nel vessel del reattore, che è in acciaio massiccio, di uno spessore di 20 cm e progettato per resistere ad una pressione enorme;

(3) l'edificio del reattore, che comprende vessel e condotti, ospita una struttura di contenimento, con una parete in cemento di un metro di spessore, che poggia su una base ancora più spessa (diversi metri). Questa struttura, che conferisce la forma di cupola che si vede dall'esterno, non ha le pareti in cemento armato tradizionale bensì in un cemento rinforzato studiato ad hoc. Inoltre, nei reattori più recenti, come quelli da 1.300 MW e oltre, tipo l'*European Pressurized Reactor* (EPR), è stata introdotta un'altra gabbia di contenimento, un secondo guscio di protezione indipendente dal primo.

Nel 1979 si verificò l'incidente di Three Mile Island. Fu il primo esempio di incidente grave, con fusione parziale del nocciolo. Le barriere di contenimento diedero prova di un ottimo funzionamento: la prima venne danneggiata, ma la seconda e la terza riuscirono perfettamente a confinare la radioattività. Non vi fu, pertanto, alcuna conseguenza per la popolazione, né per l'ambiente o per gli addetti all'impianto. L'incidente ha rappresentato una vera e propria catastro-

fe economica per il settore elettrico e ha causato un forte rallentamento dello sviluppo della filiera nucleare, ma di fatto ha confermato la validità dell'approccio alla sicurezza basato sull'utilizzo delle tre barriere. Questa tripla precauzione aveva perfettamente assolto al suo compito!

Nel 1986 accadde l'incidente alla centrale di Chernobyl le cui conseguenze sono note a tutti. A seguito di quel disastro, si dovette addirittura creare un ulteriore livello (il 7°) della scala di gravità degli incidenti nucleari (*International Nuclear Event Scale* - INES), livello corrispondente ad un'elevatissima dispersione di radioattività nell'ambiente. A suo modo, questo incidente ha confermato la validità del principio di contenimento: a Chernobyl, non vi era alcun edificio di contenimento del reattore ma solo un semplice capannone di lamiera e anche il contenimento primario non si dimostrò molto performante. Senza barriere efficaci, la catastrofe era inevitabile. La teoria è stata quindi confermata dalla tragedia.

Il nocciolo del reattore si fuse. Quando l'uranio si fonde presenta un'elevata densità: un litro pesa 19 kg. Una confezione di 6 bottiglie da 1,5 litri, se si vuole fare il confronto con oggetti di cui si conosce bene il peso, verrebbe a pesare oltre 170 kg! Ovviamente, una massa così pesante tende a precipitare sul fondo del reattore. Nel caso della centrale ucraina, alla base del reattore vi era una piscina di «riduzione della pressione» che, al verificarsi della catastrofe, venne svuotata bloccando la massa di uranio in fusione ed evitando danni ancora peggiori. Questa vicenda ha portato a prevedere, in un reattore come l'EPR, un dispositivo (*core catcher*) posto sotto al vessel che, in caso di catastrofe, può ingabbiare il

nocciolo fuso e impedirgli di disperdersi nell'ambiente: il suo contenimento nel *core catcher* diminuisce la pressione che altrimenti verrebbe esercitata da questa massa molto densa.

E, infine, veniamo all'attentato alle Torri gemelle dell'11 settembre 2001 a New York. Che cosa succederebbe se un grande aereo civile pieno di carburante si abbattesse su una centrale? Fino a quel momento, era stato previsto il caso di un piccolo aereo che cade su un impianto a causa, ad esempio, di un malore del pilota. In quella circostanza, non vi sarebbe stato alcun problema per la struttura di contenimento, progettata per resistere a questo tipo di urto. Non si poteva però immaginare l'attentato kamikaze: in questo caso non si è di fronte ad un problema di sicurezza nucleare, bensì di sicurezza civile. Tuttavia è assolutamente necessario prevedere anche una simile situazione perché, qualora si verificasse, le conseguenze sono le stesse. Quando è stato progettato l'EPR, oltre al *core catcher* è stato previsto un guscio esterno che, in aggiunta alla classica struttura di contenimento, contenesse sia il reattore che una parte degli impianti ausiliari, come ad esempio le pompe.

3. LA LEZIONE DI FUKUSHIMA

Nel marzo 2011, si è verificato l'incidente a Fukushima classificato di livello 7, il più alto della scala INES che, come nei casi di Three Mile Island e Chernobyl, sarà una lezione da cui acquisire nuovi elementi in materia di sicurezza.

Anche se non sono ancora disponibili analisi precise, alcune informazioni sono già considerate certe. Non è il ter-

remoto ad aver provocato la catastrofe, ma lo tsunami. Infatti, la centrale di Onagawa, posizionata un po' più a nord rispetto a Fukushima, benché abbia subito lo stesso sisma non ha riportato gli stessi danni in quanto non interessata dallo tsunami. Inoltre, la forte nuova scossa del 7 aprile scorso ha provocato una piccola fuoriuscita dalla piscina dell'impianto di Onagawa, presto rientrata. Nulla, quindi, di paragonabile a Fukushima.

Quando la terra ha tremato, i reattori che erano in funzione si sono automaticamente spenti e i sistemi di raffreddamento sono stati regolarmente azionati dai motori diesel d'emergenza che, come da progetto, si sono automaticamente attivati. È con l'arrivo dell'onda anomala, 55 minuti più tardi, che questi motori ausiliari sono stati inondati e il sistema ha smesso di funzionare. Questo accade perché, anche se un reattore è spento, il calore residuo è enorme (per fare un esempio banale, pensiamo a un ferro arroventato che risulta intoccabile per un certo periodo di tempo). Servono quindi sistemi di raffreddamento in grado di funzionare in modo efficace per settimane nonostante i danni causati dall'incidente.

L'esperienza di Fukushima indurrà sicuramente a riflettere sulla questione del funzionamento continuo delle strutture ausiliarie, in caso di gravi perturbazioni dell'ambiente circostante, principalmente di origine marittima visto che la maggior parte delle moderne centrali è costruita lungo le coste per agevolare l'azione di raffreddamento. Da questo punto di vista, bisognerà rivedere tutti gli scenari possibili considerando eventi che apportano uno squilibrio climatico durevole, tsunami e attentati (anche terroristici) agli

edifici ausiliari quali le piscine di stoccaggio del combustibile, spesso meno protette dei reattori nucleari.

La tecnologia EPR ha già previsto l'inserimento di un quarto sistema addizionale di sicurezza. Ciò significa che se un motore va in panne, c'è n'è un altro di scorta che si attiva; se quest'ultimo si ferma a sua volta, si può contare su un terzo generatore di emergenza e nel caso in cui questo sia sfortunatamente in fase di manutenzione si ricorre ad un quarto. È l'unico settore in cui esiste un livello 4 di ridondanza, quel che invece non sussiste, per fare un esempio, nell'aviazione civile.

Caso per caso, sarebbe necessario delineare nuovi scenari, anche quelli ritenuti «impensabili». Ho criticato la centrale EPR in costruzione a Flamanville, in Francia; mi sono espresso in tal senso perché sono molto vicino a questo impianto e perché considero l'EPR il reattore più sicuro e performante oggi esistente. Questo mio stato d'animo deriva, quindi, dal fatto che informalmente gli ingegneri coinvolti nella direzione lavori del reattore hanno ammesso che con un'onda di 9 metri i motori diesel che azionano i sistemi di raffreddamento verrebbero senza alcun dubbio sommersi. Ma aggiungono che le coste della Normandia non sono interessate da onde così alte...

A Flamanville, c'è una scogliera dietro il sito in cui si sta costruendo l'EPR. Perché non montare i motori sulla scogliera? Oppure perché non piazzarvi sistemi di sicurezza addizionali che permettano di inondare il reattore per semplice forza di gravità, quel che suole definirsi sistema di «sicurezza passiva»? Il costo, come sopra riportato, sarebbe trascurabile. Ho avuto il pia-

cere di sentire che il Presidente dell'Autorità francese per la Sicurezza Nucleare (ASN), una delle più severe al mondo, ha ripreso questa idea riconoscendo che si tratta di una misura semplice da attuare.

Tutto questo va valutato centrale per centrale, esaminando le particolari condizioni dei siti. Visto che non ci sono scogliere ovunque, bisognerebbe prevedere piattaforme sopraelevate poste a 15-20 metri di altezza. In caso di terremoti, specie nelle zone sismiche, occorre rifare i test, quello che di fatto in Francia è già previsto. Come regola generale, questo rischio è già stato previsto ovunque nel mondo. Il metodo consiste nel cercare, anche avvalendosi degli archivi storici più datati, le scosse più forti registrate in una data regione e aggiungervi un grado in più della scala Richter.

Bisognerà, inoltre, prendere in considerazione il problema delle esplosioni di idrogeno che sono tra le cause di deterioramento delle strutture che circondano i reattori a Fukushima.

4. UN GENDARME CIVILE INTERNAZIONALE

In conclusione, è necessario rifare un controllo generale dei siti e occorre farlo in tutto il mondo. Se un solo Paese si attiva in tal senso, ne subirà una perdita di competitività rispetto agli altri e la sicurezza non verrebbe assicurata, in quanto è noto che le conseguenze di una catastrofe nucleare non conoscono confini.

L'ideale, da questo punto di vista, sarebbe poter contare su un organo di controllo internazionale, una sorta di *International Atomic Energy Agency* (IAEA) civile, investita di un'autorità tale da far rispet-

tare a tutti i Paesi le norme internazionali. Un incidente in un Paese crea problemi ovunque, quindi tutto il mondo ha interesse a raggiungere il maggior livello di sicurezza possibile. Ma tutti i Paesi del mondo dimostreranno di essere così saggi? Questo è un altro problema...

Questo organismo internazionale dovrebbe essere molto severo e investito di un'autorità incontestabile. Bisogna poter dire al direttore lavori di una centrale: «*Avete terminato la costruzione dell'impianto, vi è costato 4 mld. euro ma non può entrare in esercizio perché non avete rispettato la procedura che vi abbiamo indicato. Potrà venire avviato solo dopo aver ottenuto la nostra autorizzazione!*». Serve un'autorità insindacabile tenendo conto delle risorse finanziarie in gioco.

Penso che sia necessario assumere come modello (è il rigore e non un malcelato patriottismo che mi porta a dire questo!) l'Autorità per la Sicurezza Nucleare francese. Le sue competenze, la sua autorità e la sua indipendenza sono riconosciute a livello internazionale. I sei commissari che la dirigono hanno un mandato non rinnovabile della durata di sei anni durante il quale il loro ruolo è inamovibile. Con questo sistema di nomina «chiuso», nessuno viene indotto a sospettare che i commissari possano essere soggetti a vincoli di qualsiasi natura. Il Presidente di questa Autorità, André-Claude Lacoste, rappresenta il «gendarme del nucleare», garante del funzionamento delle nostre centrali. Da anni si batte per tentare di armonizzare, sul piano europeo, le norme di sicurezza. Bisogna vincere questa sfida e poi trasferirla a livello mondiale.

Parigi, Aprile 2011