

RIPARTENZA DEL NUCLEARE CIVILE NEL MONDO

Ettore Ruberti

Riassunto

Uno dei problemi più critici attuali delle società contemporanee è costituito dal fabbisogno energetico, attualmente soddisfatto per l'84% a livello mondiale attraverso la combustione di carbone, petrolio e gas. Nel medio termine l'unica alternativa all'utilizzo dei combustibili fossili sembra essere rappresentata dal nucleare da fissione. Ma per l'uso di energia da fonte nucleare è necessario tener conto dei potenziali pericoli interessanti l'intera biosfera. Conseguentemente, una corretta gestione del patrimonio naturale non può prescindere dall'attenta considerazione dello "stato dell'arte" di tale attività.

Abstract

One of the most critical problems facing contemporary societies today is the need for energy, 84% of which is currently met worldwide through the burning of coal, oil and gas. In the medium term, the only alternative to the use of fossil fuels seems to be nuclear fission power. But the use of nuclear energy must consider the potential dangers to the entire biosphere. Therefore, proper management of the natural heritage cannot disregard careful consideration of the 'state of the art' of this activity.

Parole chiave: *fabbisogno energetico, carbone, petrolio, gas, energia nucleare, patrimonio naturale.*

Keywords: *energy needs, coal, oil, gas, nuclear energy, natural heritage.*

1. Introduzione

Uno dei problemi più critici e pressanti del mondo contemporaneo è costituito dal fabbisogno energetico, attualmente soddisfatto per l'84% a livello mondiale attraverso la combustione di carbone, petrolio (con i suoi derivati) e gas (principalmente metano). È evidente che tutto ciò può essere causa di crisi geopolitiche, di inquinamento sia atmosferico che idrico e terrestre, di forte impatto sul piano sanitario e di incremento dell'effetto serra. Se oltre alla crescita dei consumi, che avviene in particolare nei Paesi in via di sviluppo (PVS), si considera anche l'esaurimento dei giacimenti di più facile accesso, diviene altrettanto chiaro che la problematica energetica si acuirà nel futuro in maniera esponenziale. Le fonti definite alternative o rinnovabili, come il solare fotovoltaico, il solare termico e l'eolico, sono da considerarsi integrative in quanto caratterizzate da bassa intensità energetica e da intermittenza nella disponibilità. L'idroelettrico è stato sviluppato dove si poteva, a volte con rilevante impatto ambientale (si veda, in proposito, quanto avvenuto in Cina ed in Sud America). Il geotermico offre qualche possibilità di incremento. La fusione, se

andrà tutto secondo le previsioni, sarà disponibile fra circa 50 anni. Le altre fonti (sfruttamento delle maree, ecc.) sono attualmente solo allo stadio di impianti dimostrativi. L'unica alternativa all'utilizzo massiccio dei combustibili fossili è dunque rappresentata dal nucleare da fissione, sebbene questo negli ultimi decenni sia stato demonizzato dall'opinione pubblica a causa degli eventi prima di Three Mile Island negli USA e poi di Chernobyl in Ucraina e di Fukushima in Giappone, che lo hanno interessato in senso negativo. Poiché l'attività produttiva di energia da fonte nucleare è obbligata a tener conto di potenziali pericoli interessanti non soltanto le società umane, ma l'intera biosfera che ne permette l'esistenza, risulta evidente come una corretta gestione del patrimonio naturale non possa prescindere dall'aver costantemente chiaro lo "stato dell'arte" di tale attività. E il senso del presente articolo va appunto in questa direzione.

2. La posizione dell'Italia

Malgrado gli anni trascorsi, non sempre è possibile incontrare nei media una narrazione attendibile

ed esaustiva di ciò che è realmente accaduto nei tre siti citati nel titolo di questo articolo. Tanto per dare un esempio, non sempre è stato messo in evidenza il fatto che la catastrofe di Chernobyl del 1986 non derivò da un incidente nella centrale, ma da un improvvido esperimento. La narrazione, inoltre, è stata spesso fatta con toni e risvolti di carattere “terroristico”, contribuendo in tal modo a generare e diffondere nel vasto pubblico, e in particolare in quello italiano, una reazione di rifiuto nei confronti di qualsiasi intento di produzione energetica tramite la fissione dell’atomo. Anche sulla base dei risultati del referendum popolare sul tema tenutosi nel 1987, il nostro Paese ha deciso di attenersi ad un programma energetico fondato unicamente sull’uso massiccio del gas naturale, imponendo altresì una moratoria di cinque anni, che poi sono divenuti 34, nell’utilizzo delle quattro centrali nucleari di cui disponeva: quelle di Trino Vercellese in Piemonte, di Caorso in Emilia, di Latina nel Lazio e di Sessa Aurunca sul Garigliano in Campania. Per quanto riguarda il referendum, d’altra parte, è da ricordare che esso non metteva in discussione la produzione energetica tramite fissione nucleare, in quanto l’articolo 75 della Costituzione vieta esplicitamente di sottoporre a quesito referendario materie frutto di accordi internazionali (il motivo per cui non abbiamo votato per l’euro!) ma proponeva tre quesiti che spesso sono stati definiti come piuttosto nebulosi e di non facile comprensione perfino per gli stessi addetti ai lavori. I quesiti, in effetti, riguardavano: 1) l’abrogazione o meno delle norme che consentivano al Comitato Interministeriale per la HEY Programmazione Economica (CIPE) di decidere sulla localizzazione delle centrali, nel caso non lo avessero fatto le Regioni nei tempi previsti; 2) l’abrogazione o meno dei compensi ai Comuni che accettavano i grandi insediamenti energetici nucleari o a carbone; 3) l’abrogazione o meno della norma che consentiva all’ENEL di partecipare ad accordi internazionali per la costruzione e la gestione di centrali nucleari all’estero. E tutto ciò nonostante che (a) la prima Conferenza Nazionale sull’Energia avesse raccomandato il contrario, (b) che l’allora Presidente del Consiglio, Bettino Craxi, avesse rassicurato la Comunità Europea sul non abbandono della produzione elettrica tramite l’energia nucleare; e che (c) la moratoria introdotta avesse di fatto convertito l’energia elettrica generata tramite fissione in un prodotto di importazione – dalla Francia, dalla Slovenia e dalla Svizzera – per una percentuale di circa il 14% dell’energia annualmente consumata in Italia. A completamento del quadro, può infine essere ricordato il fatto che in Italia ancora non è stato scelto un sito appropriato per lo smaltimento delle scorie radioattive – non solo quelle prodotte dalle centrali energe-

tiche, ma anche quelle di provenienza industriale ed ospedaliera; e ciò malgrado a tale proposito si abbiano a disposizione sia tecnologie ormai mature e ben collaudate, sia pregevoli studi da parte dell’Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l’Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA) e dell’Istituto Superiore per la Protezione dell’Ambiente (ISPRA). Ma torniamo ai tre siti sopra menzionati ed analizziamone, sia pure brevemente dato lo spazio riservato all’articolo, ciò che effettivamente vi è accaduto.

3. Quello che è veramente accaduto negli USA a Three Mile Island

A tutt’oggi, il più grave incidente nucleare verificatosi negli USA rimane quello della centrale di Three Mile Island, ubicata nell’isola omonima lungo il Fiume Susquehanna nel territorio di Londonderry a sud di Harrisburg, capitale dello Stato di Pennsylvania. Il 28 marzo del 1979, in uno dei suoi due reattori si verificò il blocco di una valvola del circuito secondario di refrigerazione che provocò la mancanza di alimentazione ai generatori di vapore. Questo fatto fece fermare il circuito primario di raffreddamento del “nocciolo” (l’erogatore dell’energia nucleare) per cui si ebbe un aumento di pressione che portò al blocco della valvola di sicurezza, e quindi – come previsto dalle norme relative a qualsiasi tipologia di centrale nucleare eccettuate quelle RBMK (dal russo Reaktor Bolshoi Moshchnosty Kanalny, che significa “reattore di grande potenza a canali”) – all’arresto dei generatori di emergenza ed all’inserimento delle barre di controllo. Sebbene la mancata apertura della valvola di rilascio abbia danneggiato anche l’interno dell’impianto, i tecnici non ebbero modo di accorgersene in quanto la strumentazione non includeva un indicatore del funzionamento della stessa. In definitiva, la parziale fusione del “nocciolo” del reattore rese quest’ultimo inutilizzabile e consentì il rilascio di 480 PBq. Nel Sistema Internazionale Pesì e Misure, il Becquerel (Bq) rappresenta l’unità di misura dell’attività di 1 radionuclide al secondo, non assorbito, mentre il PicoBecquerel (PBq) e il GigaBecquerel (GBq) corrispondono rispettivamente ad 1 bilionesimo e ad 1 miliardo di Bq. Si parlò allora del pericolo derivante dalla presenza di idrogeno, ma questo non rappresentò un problema poiché gli addetti provvidero puntualmente ad espellerlo dal reattore tramite un meccanismo a valvola. Dopo decenni da quanto avvenuto allora, sappiamo che l’incidente non produsse effetti letali né all’interno né all’esterno della centrale.

4. Quello che è veramente accaduto a Chernobyl nell'ex-URSS

Costruita nel 1970 in epoca sovietica nei pressi di Prypjat', nell'attuale Ucraina, la centrale di Chernobyl era nata dalla scelta di una tecnologia indirizzata anche a fini militari in quanto idonea a produrre, oltre che energia elettrica, plutonio per testate nucleari. Originariamente era dotata di quattro reattori RBMK, cioè, appartenenti ad un tipo che era impiegato solo all'interno dell'URSS, mentre nei Paesi satelliti di quest'ultima venivano utilizzati impianti di tipo VVER (Vodo-Vodyano Energetichesk Reaktor) a bassa potenza, simili a quelli occidentali ad acqua pressurizzata. Il reattore RBMK 1.000, a tubi in pressione, moderato a grafite e refrigerato ad acqua leggera bollente, ha una potenza complessiva di 3.200 MW termici che permettono di produrre 1.000 MW elettrici. Il disaccoppiamento delle funzioni di moderatore, affidate alla grafite, da quelle del refrigerante, affidate all'acqua leggera (che contenendo idrogeno funge anche da assorbitore di neutroni), può generare instabilità intrinseca: nel senso che alla mancanza d'acqua si accoppia un aumento della reattività del sistema (coefficiente di vuoto positivo). I reattori di tipo occidentale, ad acqua bollente (Boiled Water Reactor: BWR) e ad acqua pressurizzata (Pressured Water Reactor: PWR) affidano invece all'acqua entrambe le funzioni (moderazione e raffreddamento), tanto che in mancanza d'acqua la reazione nucleare si arresta. Il "nocciolo" del reattore RBMK è costituito da un grande cilindro in blocchi di grafite dal diametro di 12 m e dall'altezza di 7 m. Nella matrice in grafite sono disposti, secondo un reticolo regolare, i canali per l'inserimento delle barre di controllo ed i canali di potenza, tubi in lega di zirconio nei quali sono contenuti gli elementi di combustibile. È in tali elementi, costituiti da fasci di barrette cilindriche in lega di zirconio contenenti pasticche (pellets) di biossido di uranio arricchito al 2%, che ha luogo la reazione di fissione a catena dell'uranio, con produzione di neutroni veloci e di calore. L'acqua, spinta dalle pompe di circolazione, scorre nei canali di potenza dal basso verso l'alto alla pressione di circa 70 kg/cm² ed affluisce nel "nocciolo" alla temperatura di 270 °C. Uscendo dal medesimo, l'acqua è inviata a quattro grandi separatori di vapore, dai quali la frazione liquida torna a fluire nei canali di potenza mediante le pompe di circolazione, mentre il vapore è convogliato ad azionare due gruppi turbina-alternatore da 500 MWe ciascuno. Il vapore esausto scaricato dalle turbine viene condensato e l'acqua risultante, preriscaldata, è rinviata al separatore di vapore tramite le pompe di alimentazione. Quando il reattore è a regime la grafite ha una temperatura

media di 600 °C e punte di 700 °C, valori molto elevati in quanto superiori alla soglia di reazione aria-carbonio e prossimi alla soglia di reazione acqua-carbonio. Le caratteristiche costruttive di questo tipo di reattore rendono possibile, anche durante il funzionamento, il ricambio degli elementi combustibili attraverso una gigantesca macchina di carico e scarico alta 35 m ed ubicata nella hall superiore del reattore. Tale hall è coperta da una struttura a capriata che, ovviamente, non può essere considerata un sistema di contenimento. Al contrario, le centrali occidentali dispongono di un vero e proprio edificio di contenimento fatto da strati di cemento al boro ed acciaio in grado di resistere anche alla caduta di un aereo o ad un terremoto. Quanto accadde nella notte fra il 25 ed il 26 aprile 1986 nell'unità 4 della centrale nucleare di Chernobyl, fu nel corso di un esperimento (si parla infatti di "esperimento di Chernobyl") volto a verificare la possibilità di alimentare i sistemi di sicurezza durante il rallentamento del turbogeneratore successivo al distacco dalla rete. Tale prova fu affidata ad un tecnico non specializzato; inoltre, sia durante la fase preparatoria dell'esperimento che nel corso della sua realizzazione furono commessi numerosi errori di manovra e gravi violazioni a precise norme procedurali. Se le fasi iniziali del disastro sono imputabili a questi aspetti, il suo sviluppo incontrollato è invece da collegare alle caratteristiche di instabilità intrinseca a questa tipologia di reattore (particolarmente a bassa potenza) e determinata da un elevato coefficiente positivo di reattività e dalla mancanza di un edificio di contenimento. Più in dettaglio, si può osservare che il reattore era venuto a trovarsi in una situazione di massima instabilità in quanto le barre di controllo non erano nella posizione prevista (cioè 6-8 barre inserite contro il numero minimo di 30 previsto) ed in tutto il circuito di raffreddamento si erano determinate condizioni prossime alla saturazione. L'improvviso arresto di quattro pompe di circolazione nel momento di attuazione dell'esperimento determinò quindi una produzione di vapore molto rapida e, conseguentemente, un fulmineo aumento di potenza del reattore dovuto alla sua instabilità intrinseca (coefficiente di vuoto positivo). La produzione di vapore in alcune zone del "nocciolo" causò poi l'introduzione di una forte quantità di reattività positiva, tale da portare il reattore "pronto critico" alla rottura di alcuni canali di raffreddamento ed a far sbalzare di posizione la piastra-schermo superiore. Quest'ultimo evento, documentato dalle fotografie scattate dagli elicotteri, impedì alle barre di controllo di inserirsi e, tranciando tutti i canali di potenza, generò una nuova iniezione di reattività. In seguito ad una serie di reazioni chimiche esplosive, si verificarono infine distruzioni delle strut-

ture del reattore, l'espulsione di blocchi di grafite e di pezzi di combustibile, l'innesco di una serie di incendi nell'area degli edifici della centrale e l'incendio della grafite del reattore esplosivo. La combustione della grafite (ne bruciò il 10%) produsse una colonna di fumo che si elevò fino a 1.200 metri di quota, dove i venti, sempre presenti a quelle altezze, contribuirono a disperdere la radioattività sull'Europa. Per quanto concerne le conseguenze sulla popolazione, i dati più attendibili sono quelli pubblicati nel rapporto del Chernobyl Forum, un incontro internazionale promosso nel 2003 dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA), al quale parteciparono varie Agenzie delle Nazioni Unite come l'Organizzazione per l'Alimentazione e l'Agricoltura (FAO), l'Ufficio per il Coordinamento degli Affari Umanitari (OCHA), il Programma delle Nazioni Unite per lo sviluppo (UNDP), il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente (UNEP), il Comitato scientifico delle Nazioni Unite per lo Studio degli Effetti delle Radiazioni Ionizzanti (UNSCEAR), l'Organizzazione Mondiale per la Sanità (WHO), la Banca Mondiale, la Russia, la Bielorussia e l'Ucraina. Una sintesi di tale rapporto è consultabile nel sito del web <http://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html>. In estrema sintesi, i morti accertati nel corso degli eventi furono: 3 lavoratori della centrale (2 a causa dell'esplosione ed 1 per trombosi coronarica); 28 soccorritori per le radiazioni assorbite e 19 per cause legate alle radiazioni (3 dei quali per leucemia); 15 persone, fra la popolazione maggiormente esposta, per tumore alla tiroide. Relativamente alle morti presunte, ma non rilevabili statisticamente, si ricordano: 2.200 su circa 200.000 liquidatori; 160 su circa 116.000 evacuati; 1.600 persone in aree a stretto controllo su circa 270.000. Infine, fra la popolazione residente a largo raggio nella zona irradiata da 37 kBq/m² (kiloBecquerel per metro quadro) in su, il numero dei morti è incerto ma valutabile in circa 5.000 su 5 milioni. Mentre per i dati sui lavoratori e sui soccorritori non ci sono discussioni, per quelli sui morti presunti esistono stime diverse che hanno portato ad accese contestazioni, in particolar modo da parte del Partito Verde europeo e dei vari gruppi ambientalisti. Va sottolineato, ancora, che molti dati sostenuti dai mass media e dalle fonti su Internet sono da ritenersi inattendibili in quanto non basati su un qualunque criterio di stima. In questo contesto si aggiunge anche che alcuni ricercatori hanno recentemente diffuso notizie allarmanti circa la presenza di lupi provenienti da Chernobyl, e quindi ritenuti radioattivi (o mutanti), a circa 300 km di distanza. Oltre a ricordare che gli altri tre reattori della centrale hanno continuato a funzionare fino all'anno 2.000, si evidenzia che il grado di radioattività locale è oggi sceso a

livello di non pericolosità (anche se il terreno contaminato non potrà essere utilizzato per agricoltura e allevamento) e che la centrale è stata coperta da un nuovo "sarcofago" in acciaio in grado di resistere per almeno un secolo.

5. Quello che è veramente accaduto a Fukushima in Giappone

Ubicata circa 200 chilometri a nord-est di Tokyo sulla costa affacciata all'Oceano Pacifico, la centrale giapponese di Fukushima consiste di sei reattori nucleari costruiti fra il 1971 e il 1979 su terrapieni di differente altezza: due di essi a 13 m e gli altri quattro a 10 m. Come è noto, il disastro verificatosi l'11 marzo del 2011 fu provocato da uno tsunami (termine giapponese che significa onda del porto) di dimensioni rilevanti. Anche se conosciamo le condizioni necessarie al crearsi di queste onde anomale e le dimensioni che possono raggiungere in località spesso lontane dalla loro area di provenienza (la loro altezza varia a seconda dell'andamento batimetrico della costa), i momenti in cui esse possono formarsi rimangono purtroppo ignoti. Basandosi sui dati storici elaborati statisticamente, i Giapponesi avevano previsto lungo le loro coste barriere di altezze variabili fino a 16 m, ma in alcune insenature l'onda del 2011 raggiunse i 24-30 m, per cui risultò decisamente inarrestabile: tant'è che al medesimo tempo esplosero due centrali di turbogas, bruciò una raffineria e cedette una diga causando la morte di 18.000 persone. A Fukushima era stata realizzata una barriera di protezione dalle onde alta 6,5 m, ma localmente l'onda dello tsunami arrivò quasi a 14 m. Come previsto a livello progettuale, i reattori attivi 1, 2 e 3 si spensero in 20 secondi (gli altri erano stati disattivati per manutenzione). A questo punto la circolazione dell'acqua di raffreddamento doveva essere garantita dai generatori di emergenza alimentati da motori diesel, ma solo quei pochi non sommersi dall'acqua continuarono a funzionare. D'altra parte, lo tsunami travolse i grandi serbatoi di gasolio e distrusse i collegamenti con la rete elettrica. Nei reattori 1, 2 e 3, ormai privi del raffreddamento di emergenza, la temperatura salì fino a 900-1.000 °C e le barre di zircalloy (la lega di cui sono fatti gli elementi di combustibile contenitori del pellet di uranio e plutonio) iniziarono ad ossidarsi liberando grandi quantità di idrogeno. In condizioni normali l'acqua si scinde in idrogeno e ossigeno a 3.500 °C ma, in presenza del catalizzatore zirconio, la scissione avviene a 800 °C. Per impedire l'aumento della pressione nel contenitore del "nocciolo" dei reattori, i tecnici decisero di liberare il vapore contenente idrogeno ed i prodotti di fissione

più volatili. L'idrogeno è 14,4 volte più leggero dell'aria, e in condizioni normali si sarebbe disperso, ma in questo caso si raccolse nella parte superiore degli edifici dei reattori dove si ricombinò con l'ossigeno. Come ben sappiamo fin dai tempi del liceo, al di sopra dei 550 °C la ricombinazione di tali elementi avviene in maniera esplosiva (si parla, infatti, di gas tonante). Le esplosioni che si verificarono, quindi, furono chimiche e non nucleari. Ciò, comunque, portò alla distruzione della parte superiore degli edifici 1, 3 e 4 ed alla liberazione di una nube radioattiva che rese critica una zona di circa 22 km di diametro. La nube si espanse sopra l'Oceano Pacifico in direzione del Nord America e dell'Atlantico. Il massimo registrato in Italia, misurato presso il Centro Ricerche Ambiente Marino dell'ENEA (Pozzuolo di Lerici, SP), fu comunque di un quinto della radiazione di fondo che ci colpisce ogni giorno. Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), anche nella zona critica suddetta gli effetti a lungo termine (neoplasie) imputabili alle dosi ricevute non sono risultate rilevabili rispetto alle fluttuazioni statistiche di "fondo" delle patologie oncologiche. Tra gli oltre 33.000 lavoratori impegnati nella centrale prima dell'incidente e nei mesi successivi non sono stati registrati casi di sindrome acuta da radiazioni. Un rischio ipotetico di tiroiditi autoimmuni e di ipotiroidismo è stato riconosciuto in 13 lavoratori con elevata esposizione alla tiroide, mentre non sono stati evidenziati rischi di patologie cardiovascolari da radiazioni. A tutt'oggi nessun caso di neoplasia si è verificato: tra i 174 lavoratori esposti a più di 100 millisievert (Le unità di misura internazionali per la radiazione equivalente e quella efficace che valutano rispettivamente l'effetto e l'entità dei danni provocati su un organismo sono il Sievert (Sv) e il Gray (Gy). Entrambi sono sinonimi del passaggio di un joule di energia per chilo. La dose per evento in cui cominciano ad essere rilevabili i primi sintomi sanitari è di 250.000 Sv (i sottomultipli del Sievert sono il millisievert, un millesimo di Sv e il microsievert, un milionesimo di Sv); tale valore rappresenta il doppio di quanto è consentito in un anno dalla normativa ed esso potrebbe rappresentare un rischio, seppure non immediatamente correlabile. Il riversamento in mare dei liquidi radioattivi, causato in gran parte da errori della società che gestisce gli impianti, la Tokyo Electric Power Company (TEPCO), corrisponde a quello dei liquidi di scarto (il cosiddetto dumping) che fino a poco tempo fa veniva attuato lungo le coste della cittadina di Southampton dalle centrali inglesi, ossia 60.000 tonnellate d'acqua (espressi in volume sarebbero 60.000 metri cubi d'acqua che divisi in contenitori di 2 m di altezza occuperebbero non molto di più di 3 ettari). Per quanto i danni nei pressi della costa di

Fukushima siano stati significativi e le perdite continue impediscano ancora oggi la pesca e l'allevamento, va considerato che l'acqua radioattiva si disperde completamente nell'immensa massa dell'Oceano Pacifico; per cui qualunque notizia relativa ad una sua reale contaminazione (l'aumento della radioattività è trascurabile e, in ogni caso, inferiore alla radioattività del carbonio 14 e potassio 40 naturalmente presenti nel mare) ed all'arrivo di pesce radioattivo (tonni e salmoni) sulle coste occidentali americane è da ritenersi del tutto inattendibile. Secondo un articolo pubblicato sui Proceedings of the National Academy of Science (PNAS), è stato possibile monitorare le migrazioni dei tonni grazie ad una debolissima quantità di radioattività, molto minore comunque di quanto sufficiente a provocare danni biologici. Anche considerando solo la regione in prossimità delle coste di Fukushima, le perdite dei reattori ammontano a meno di una parte su 100.000 della radioattività presente. È vero che alcuni reattori si sono parzialmente fusi, ma i danni, sebbene assai rilevanti, sono rimasti confinati all'interno degli impianti. Sembra infine opportuno sottolineare che le norme di sicurezza introdotte dopo l'incidente di Fukushima non sono state del tutto adeguate alla situazione reale, in quanto hanno reso illegali quantità di radiazioni al di sotto della soglia di pericolo fissata in precedenza ed hanno obbligato una parte della popolazione a spostarsi in altri luoghi. Quest'ultimo aspetto, per quella che gli psicologi definiscono "sindrome da rafforzamento", soprattutto tra gli anziani e le persone affette da patologie pregresse ha provocato diffusi stati d'ansia, malattie psicosomatiche e morti da depressione e da stress.

6. L'odierna ripresa del nucleare

Sulla Terra esiste una radioattività naturale che fin dall'inizio ci ha accompagnato nel percorso evolutivo e che nel tempo è andata addirittura diminuendo. Per fortuna il nostro pianeta è geologicamente attivo ed in grado di fornirci, dal suo interno, molti elementi indispensabili alla vita; se così non fosse, tali elementi si esaurirebbero in circa 300.000 anni ed a popolare il pianeta resterebbero solo i microorganismi estremofili appartenenti agli Archea ed ai batteri. Va aggiunto che nel nostro corpo avvengono mediamente 7.700 decadimenti radioattivi al secondo, la metà dei quali interessanti il potassio, e che riceviamo radioattività dallo spazio, dalla terra, dal cibo, dall'onni-presente radon e persino dalla respirazione. Va inoltre tenuto presente che in molte aree vi sono rocce la cui radioattività naturale è elevata, anche se molto al di sotto del livello in cui si cominciano ad osservare i

primi effetti sulle cellule componenti gli organismi. Per fare un solo esempio: il porfido, che a Roma costituisce la pavimentazione di Piazza San Pietro, ha una radioattività cento volte maggiore di quella attualmente rilevabile a 100 metri dal quarto reattore di Chernobyl. All'opposto di ciò che generalmente si crede, oggi il nucleare non mostra affatto di andare in pensione, ma sembra addirittura entrare in una fase di seconda giovinezza. Nel mondo, infatti, sono in avanzata fase di costruzione ben 53 centrali nucleari in grado di assicurare una potenza elettrica complessiva di 54.094 MWe (56.270, secondo l'AIEA), altre sono in fase di licenziamento e molte in programmazione. Sono inoltre in fase avanzatissima di progettazione, ed in alcuni casi di costruzione, reattori di quarta generazione "autofertilizzanti", ossia capaci di utilizzare gran parte delle scorie prodotte dai reattori delle generazioni precedenti con un rendimento di almeno due ordini di grandezza superiore agli attuali. La prima centrale dotata di questo tipo di reattori e giunta a completare il suo ciclo vitale senza problemi è stata il Superphoenix di Cres Melville, frutto di una cooperazione franco-italo-tedesca. Le poche scorie rimaste possono agevolmente essere distrutte dal Rubbiatron, attualmente allo studio presso il Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA: un reattore collegato con un piccolo acceleratore di particelle che "bombardano" le scorie producendo ulteriore energia ed abbassandone la radioattività. Va altresì aggiunto che i reattori di quarta generazione, lavorando ad alta temperatura, possono produrre idrogeno a costi ragionevolissimi. Se in Europa soltanto la Francia, la Finlandia, la Gran Bretagna ed i Paesi orientali (Bielorussia, Bulgaria, Repubblica Ceca, Romania, Slovacchia, Ucraina e Ungheria) stanno costruendo o hanno in programma nuove centrali, l'uso dell'energia nucleare sta acquistando una posizione di primo piano soprattutto nei Paesi emergenti, Cina in primis. Più in dettaglio, la situazione a livello globale si presenta come segue: - dopo una pausa di tre anni, nel 2019 la Cina ha deciso di costruire da 6 ad 8 centrali all'anno per arrivare a coprire il 10% dei consumi elettrici entro il 2030, partendo dall'attuale 4,9%. Ha rivolto inoltre il suo interesse verso centrali autofertilizzanti HTGR ad alta temperatura, con l'ulteriore obiettivo di produrre idrogeno da utilizzare in campo industriale (vapore per il teleriscaldamento, trasporto su gomma, ecc.); - la Russia sta promuovendo attivamente la costruzione di centrali anche al di fuori dei suoi confini (ad esempio: in Turchia, dove ne sta realizzando una e ne ha previste altre due; in Iran, dove ne è stata terminata una ed un'altra è in costruzione; in Bangladesh), offrendo un portafoglio di opportunità adeguato al livello tecnologico del Paese se cliente: si va dal pacchetto integrale

con addestramento del personale a contratti che prevedono la gestione totale degli impianti. La Russia è anche il Paese dove è maggiormente sviluppato l'uso di piccole centrali offshore ubicate su chiatte e dove la tecnologia delle centrali modulari è molto avanzata; - l'India dispone di 22 reattori in funzione, ne ha 7 in costruzione ed è intenzionata a realizzarne altri 14 poiché, come ha dichiarato il Dipartimento dell'Energia Atomica, "non esiste un sostituto per l'energia atomica particolarmente affidabile". In passato l'India aveva dichiarato di voler raddoppiare la propria capacità nucleare entro il 2031, ipotesi poi ridimensionata a causa dei dubbi sulla fattibilità del progetto espressi dalla Nuclear Power Corporation di tale Paese; - il Pakistan dispone attualmente di 5 centrali (più due in costruzione ed una in progettazione), ma ha annunciato di volerne portare a termine 32 entro il 2050. Si ricorda che questo Paese è stato il primo, fra quelli musulmani, a saper costruire e gestire autonomamente centrali nucleari; - il Giappone, dopo il blocco totale seguito al disastro di Fukushima, ha confermato il nucleare nella propria politica energetica riavviando 9 reattori ed iniziando la costruzione di altri due; questi reattori si aggiungeranno ai 24 impianti già esistenti, per i quali sono in corso adeguamenti alle più severe normative di sicurezza; - altri Paesi come la Corea del Sud, la Thailandia e Taiwan si stanno muovendo verso l'acquisizione di nuove centrali, per cui l'Asia è veramente da considerarsi la protagonista del cosiddetto "rinascimento nucleare". Fra l'altro, la Corea del Sud ha quest'anno inaugurato la prima centrale negli Emirati Arabi Uniti, con il completamento di uno dei quattro reattori previsti a Barakah; - in Africa, dove la Repubblica Sudafricana ha due reattori in funzione e progetta di costruirne altri, numerosi Paesi (tra i quali Egitto e Tunisia) hanno avviato il percorso che li porterà alla realizzazione della loro prima centrale nucleare; - nelle Americhe gli Stati Uniti, l'Argentina ed il Brasile stanno portando avanti la costruzione di un numero limitato di centrali nucleari dato che puntano ancora sui fossili (nel caso degli USA soprattutto sul carbone). Il Canada non ha in programma la costruzione di nuove centrali ma sta ammodernando i reattori CANDU per allungarne significativamente la vita operativa. Secondo l'AIEA, attualmente sono in attività 441 o 442 reattori nucleari i quali, sviluppando una potenza complessiva di 391.665 o 392.150 MWe, contribuiscono per il 10,5 % alla produzione elettrica mondiale. Riguardo al costo dell'energia elettrica prodotta dalle diverse fonti, la tabella redatta dall'U.S. Information Energy Administration relativa al 2019 non necessita di ulteriori commenti. In conclusione, di fronte ai danni sanitari ed ambientali provocati dall'utilizzo massivo dei combustibili fossili (nel solo

2016 l'OMS ha valutato in ben 3,7 milioni le morti in Europa dovute all'inquinamento industriale e la metà delle quali legata all'uso del carbone), la preoccupazione che il nucleare possa rappresentare veramente un pericolo per le società umane e, più in generale, per l'intera biosfera, non può che richiedere di essere ridimensionata.

Bibliografia

- A.A.V.V. (1980), Harrisburg Emergenza Nucleare: Il rapporto americano sull'incidente alla centrale di Three Mile Island. ETAS.
- Batistoni P. (a cura di) (2006), Il Rapporto del Chernobyl Forum. Energia, Ambiente Innovazione, 4: 29-44.
- Ciotti M., Ruberti E. & Manzano J. L. (2016), Nucleare di nuova generazione: i reattori a piombo. Energia, dicembre, 68-74.
- ENEA (www.enea.it) <https://www.iaea.org/topics/chornobyl> U.S. Information Energy Administration (2019).
- Ruberti E. (2017), La situazione energetica italiana Seminario "La scienza al servizio del territorio e del cittadino", Senato della Repubblica Italiana 13 aprile 2017.
- Ruberti E. (2020), Rinascimento nucleare Energia, novembre 2020. On-line.
- Silvestri M. (1968), Il costo della menzogna. Italia nucleare (1945-1968) Einaudi 1968.

ETTORE RUBERTI

È Ricercatore dell'ENEA, Dipartimento FSN-FISS-SNI. I suoi campi di ricerca sono l'evoluzione biologica e l'entomologia applicata. Attualmente dirige il Dipartimento di Biologia ed Ecologia di UNISRITA. È autore di numerosi articoli scientifici e divulgativi. Fra i suoi libri ricordiamo: Etologia: lo studio del comportamento animale; La Biodiversità, una risorsa vitale per l'intera umanità scritto insieme con il compianto professor De Murtas; L'evoluzione dell'evoluzionismo, lo sviluppo della ricerca.

He is a Researcher at ENEA, FSN-FISS-SNI Department. His fields of research are biological evolution and applied entomology. He currently heads the Department of Biology and Ecology at UNISRITA. He is the author of numerous scientific and popular articles. His books include: Etologia: lo studio del comportamento animale; La Biodiversità, una risorsa vitale per l'intera umanità (written with professor De Murtas); L'evoluzione dell'evoluzionismo, lo sviluppo della ricerca.

Contatti

ettore.ruberti@enea.it