

CRISI ENERGETICA E QUESTIONE NUCLEARE

Seminario di approfondimento e confronto

CSSR - 29 novembre 2008

Le scelte dell'energia nucleare da fissione in quanto opzione per la produzione di elettricità lascia aperti numerosi interrogativi, nonostante si tratti di una tecnologia ormai consolidata da più di 50 anni di uso (439 reattori in uso nel mondo al 1.12.08¹). I massicci investimenti per i programmi di ricerca militari, all'origine del nucleare civile, non hanno infatti permesso di risolvere alcuni nodi fondamentali del ciclo di vita di questa sorgente energetica, primi fra tutti il decommissioning (smantellamento) delle centrali e la gestione delle scorie (ciclo del combustibile e stoccaggio), elementi essenziali per una corretta analisi di questa filiera energetica, critica per la sua intrinseca pericolosità. Il bilancio economico risulta poi essere difficilmente quantificabile, in quanto i costi non sono solamente sostenuti durante il ciclo di vita di una centrale (30-50 anni) e le fasi vicine (costruzione e smantellamento), ma si estendono per una durata che può essere di ordine geologico (confinamento delle scorie della durata di molte migliaia di anni), precludendo così la possibilità di stimare seriamente il costo della filiera. Alcune di queste fasi, quali lo smantellamento e lo stoccaggio delle scorie, sono a tutt'oggi un problema aperto e senza una soluzione tecnologica definitiva; ne risulta che ogni stima economica non può che essere del tutto approssimativa. L'unica certezza che abbiamo, oggi, è la sicura smentita della visione di L.L. Strauss, ex Presidente dell'Atomic Energy Commission, che nel 1954 annunciava la produzione di elettricità nucleare a costi così bassi da rendere inutile il contatore nelle case degli americani².

Queste considerazioni hanno motivato la creazione di un Gruppo di Riflessione che ha iniziato ad analizzare alcuni degli aspetti della tecnologia nucleare, per poter rispondere agli interrogativi creati dai nuovi orientamenti della politica energetica italiana.

Nel corso della riunione sono stati evidenziati alcuni dei problemi attualmente aperti e/o irrisolti a fronte della relativa neutralità dell'energia nucleare in termini di emissioni di CO₂. Vedremo qui di seguito i problemi relativi a questa fonte energetica.

AMBIENTE

Nessuna tecnologia può definirsi completamente neutra dal punto di vista dell'impatto ambientale, ma quella nucleare presenta delle caratteristiche di pericolosità e di durata tali da dover essere considerata attentamente. Sono emersi alcuni elementi di riflessione fra i quali ricordiamo:

SCORIE: PROBLEMA IRRISOLTO

Nel ciclo di vita di una centrale, dall'estrazione della roccia uranifera per la fabbricazione del combustibile all'*interramento* dei combustibili esausti e delle strutture delle centrali smantellate, vengono prodotte delle scorie più o meno tossiche e radioattive che devono essere isolate dalla biosfera per una durata molto lunga (ad esempio il plutonio, sostanza altamente tossica, ha una emivita di circa 24 000 anni³; sono necessarie 10 emivite, cioè 240 000 anni, per ridurre la quantità ad 1/1000 della quantità iniziale).

Se si è saputo trovare un modo per gestire l'estrazione del minerale^{4 5 6 7}, essenzialmente abbandonando grandi quantità di inerti radioattivi nelle miniere a cielo aperto (il 99.9% del materiale estratto è abbandonato come scoria che contiene ancora l'85% della radioattività iniziale), se si sa come utilizzare l'uranio impoverito (U238 proveniente dal processo di arricchimento dell'uranio per la

¹ www.world-nuclear.org/info/reactors.html

² www.ieer.org/sdfiles/vol_8/8-3/npower.html

³ it.wikipedia.org/wiki/Scorie_radioattive

⁴ en.wikipedia.org/wiki/Uranium_mining

⁵ www.world-nuclear.org/info/inf23.html

⁶ www.wise-uranium.org/uwai.html

⁷ ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/109na4.pdf

produzione di combustibile) nell'industria bellica^{8 9 10}, non si è invece pervenuti a definire la filiera ottimale per il ritrattamento delle scorie ed il loro stoccaggio in siti idonei. Non esiste un accordo scientifico circa il ritrattamento del combustibile esausto (per estrarne degli elementi ancora utili e ridurre il volume delle scorie a lunga emivita) o il suo stoccaggio dopo un solo passaggio nel reattore (per inquinare le scorie con elementi ad alta attività e limitare così il rischio di furto e/o proliferazione); non esiste un parere univoco circa la tecnica di confinamento (vetrificazione, cemento, acciaio inossidabile, ...), la struttura geologica di stoccaggio (miniere di sale, strati argillosi, sottofondi marini, ...) che possa garantire il confinamento dalla biosfera per tempi geologici, la tipologia di stoccaggio (reversibile, per poter recuperare le scorie in caso di nuove tecniche di riprocessamento, ovvero irreversibile); non esiste a tutt'oggi una conoscenza precisa del comportamento dei materiali di contenimento sottoposti a flusso neutronico e sorgenti termiche per migliaia di anni; non esiste la possibilità di prevedere fenomeni geo-tellurici su scala di centinaia di migliaia di anni, nè una ragionevole certezza dell'isolamento delle scorie dalla biosfera.

Tanti, troppi elementi di incertezza, questi, per poter definire completamente conosciuto e controllato il ciclo completo dell'energia nucleare, tanto nei suoi aspetti ambientali, che in quelli sanitari ed economici.

ACQUA: UNA RISORSA PREZIOSA

Nel normale funzionamento di una centrale termo-elettrica nucleare, sono necessarie ingenti quantità d'acqua per permettere lo svolgimento del ciclo termodinamico che, mettendo in rotazione turbine ed alternatori, è alla base della produzione di elettricità. L'approvvigionamento costante è fondamentale perchè circa i due terzi dell'energia prodotta dalle reazioni di fissione deve essere dissipata (rilasciata) nell'ambiente sotto forma di calore e/o vapore d'acqua. A titolo indicativo, i reattori normalmente in uso di potenza di 1300 MW(elettrici) disperdono nell'ambiente una potenza di circa 2700 MW(termici), l'equivalente di 2,7 milioni di stufette elettriche da 1 kW, accese contemporaneamente. Questo rilascio avviene sotto forma di: a) immissione a valle dell'impianto di acque di raffreddamento 'riscaldate' dal passaggio in centrale, b) evaporazione ed immissione di vapor acqueo in atmosfera tramite le torri di raffreddamento. Nel primo caso è necessario disporre di ingenti flussi d'acqua (40-50 m3/s per un reattore di 900 MW¹¹) che sono poi reimmessi nel corso d'acqua, mentre nel secondo la quantità prelevata (2 m3/s) è inferiore ma è rilasciata in atmosfera. Recenti episodi di surriscaldamenti estivi e di siccità, episodi estremi destinati a divenire sempre più frequenti, hanno dimostrato la fragilità di questo sistema^{12 13}: il picco di consumo elettrico estivo (climatizzazione) aumenta la potenza richiesta dalle centrali nel momento in cui il flusso di acqua per il raffreddamento diminuisce; questa diminuzione porta ad un aumento della temperatura di rilascio, ad una diminuzione d'efficienza della centrale e, globalmente, ad una diminuzione nella sua produzione, rischiando quindi di causare un black-out più o meno generalizzato. Questo problema è tipico di qualunque centrale termo-elettrica (anche quelle alimentate con combustibili fossili), ma è particolarmente critico per le centrali nucleari perchè queste hanno un regime di funzionamento semi-costante e non possono essere arrestate o messe in potenza ridotta in tempi brevi. L'impatto termico delle acque reflue è poi non trascurabile per l'alterazione dell'habitat creato nei bacini a valle delle centrali: squilibri fra specie, eutrofizzazione, comparsa di specie animali e batteri normalmente assenti sono alcuni fra i problemi originati dal riscaldamento dei bacini idrici.

SMANTELLAMENTO: UN PROBLEMA DI DOMANI

Uno dei problemi irrisolti, tanto per gli aspetti tecnici quanto economici, è quello dello smantellamento delle centrali alla fine del loro ciclo di vita (30-50 anni). L'alea tecnica riguarda le modalità di intervento in un ambiente contaminato ed attivato dall'esercizio del reattore, da realizzare con sistemi robotizzati tanto più critici quanto più elevato è il grado di radioattività. Per questa ragione si stima ragionevole attendere 25-50 anni dopo l'arresto della centrale per iniziare i lavori; in questo periodo infatti, la

⁸ it.wikipedia.org/wiki/Uranio_impoverito

⁹ www.iac.rm.cnr.it/~spweb/contributi%20scientifici/su%20DU%20.html

¹⁰ staff.polito.it/massimo.zucchetti

¹¹ http://www.shf.asso.fr/bbad/minisites/gestion_sociale_economique_eau/Slides-SHF-Alain_VICAUD_ED_2017_10_07.pdf

¹² www.lesverts21.org/article.php?id_article=54

¹³ www.sortirdunucleaire.org/index.php?menu=sinformer&sousmenu=themas&sousmenu=canicule1&page=index ed in particolare i rapporti completi : www.sortirdunucleaire.org/sinformer/themas/canicule/Dossier-Canicule.pdf - www.sortirdunucleaire.org/sinformer/themas/secheresse/Dossier-secheresse.pdf - www.sortirdunucleaire.org/sinformer/themas/canicule2006/canicule2006.pdf

radioattività dovrebbe ridursi al 3% - 0.1% rispettivamente di quella iniziale. Evidentemente gli aspetti tecnici sono strettamente correlati a quelli economici: la risposta alla domanda “quanto sono disponibile a spendere per lo smantellamento?” indica quali opzioni tecniche siano ipotizzabili. I gestori delle centrali nucleari hanno evidentemente contabilizzato questi costi (integrati nel costo finale del kWh ed accantonati in un apposito fondo di finanziamento per lo smantellamento) sulla base di stime indicative pari a circa 15% dei costi di investimento per la costruzione della centrale¹⁴. I primi casi di smantellamento, ad esempio della centrale francese di Brennilis, hanno indicato cifre 20 volte superiori alle stime effettuate, come indicato in¹⁴ ed ampiamente analizzato in un rapporto della Corte dei Conti^{15 16}. Si può stimare che lo smantellamento di una centrale possa costare una cifra dell'ordine di 2 mld€ per GW di potenza (un costo pari ai costi di costruzione!) pari a 800 miliardi € per il parco elettronucleare mondiale.

CALORE A BASSA TEMPERATURA: UN CONTRIBUTO AL RISCALDAMENTO GLOBALE

Sovente trascurato in quanto impatto ambientale è il rilascio nell'ambiente di energia termica originata dalle reazioni di fissione nucleare. Quest'energia, originariamente 'stoccata' nel nucleo atomico sotto forma di energia di legame, viene rilasciata come energia termica dalla reazione di fissione e immessa nell'ambiente. Pur di debole entità (indicativamente 0.00001 volte quella ricevuta dal sole), può modificare localmente le condizioni termiche; noto, ad esempio, è l'effetto delle attività antropiche in zona urbana, dove si possono osservare rialzi termici di diversi gradi rispetto alla temperatura media. La conseguenza sarà quella di dare un ulteriore contributo, piccolo ma sicuramente non necessario, al progressivo innalzamento della temperatura della biosfera.

SICUREZZA

Il problema della sicurezza nell'industria nucleare, se pur affrontato nella pratica con attenzione e ridondanza di misure, rappresenta però un problema intrinsecamente diverso dalla sicurezza di altri comparti industriali. La portata delle conseguenze di un eventuale grave incidente, casuale o voluto, è tale, come i fatti di Chernobyl hanno dimostrato, da riguardare delle aree geografiche di dimensione sovranazionale (se non continentale) e delle popolazioni in numero largamente superiore a quello di qualunque altro tipo di incidente industriale. Prova della portata di questo rischio risiede nel diniego della copertura da parte delle società di assicurazioni di ogni rischio dell'industria nucleare. Sono stati citati alcuni dei principali aspetti legati alla sicurezza:

RADIOATTIVITÀ DI FONDO

Nel funzionamento normale della catena di produzione dell'industria nucleare, ogni sua fase (estrazione in miniera, produzione del combustibile, funzionamento del reattore, ritrattamento delle scorie, smantellamento della centrale e stoccaggio) è accompagnata da emissioni più o meno importanti di elementi radioattivi. Queste emissioni, normalmente localizzate e circoscritte ai luoghi di insediamento delle unità industriali, sono considerate accettabili secondo una normativa internazionale che ha tuttavia ridotto progressivamente i limiti imposti; risulta quindi difficile stimare quale sia realmente la soglia al di sotto della quale non vi siano rischi, ammesso che questa soglia esista. Le emissioni dei centri di ritrattamento di Sellafield (UK) e di La Hague (FR) hanno molto probabilmente un ruolo nell'occorrenza di cluster di leucemia, provati da studi epidemiologici, con incidenza da 3 a 6 volte superiore ai valori normali, e localizzati attorno a questi centri. Queste emissioni¹⁷ hanno comunque alterato i biotopi locali ed immesso nell'ambiente ingenti quantità di radionuclidi che, se pur dispersi nelle acque oceaniche, non possono che contribuire all'innalzamento della radioattività di fondo, aumentando così l'esposizione di qualunque forma animale alle radiazioni ionizzanti ed ai rischi a loro associati.

RISCHI DA INCIDENTE

La nozione di rischio integra la probabilità che un determinato evento avvenga con il danno che questo evento può creare in un determinato ambito. Riportando questo concetto al caso dell'industria nucleare che, come ampiamente noto, fa della minimizzazione della probabilità di incidente la propria bandiera, si potrebbe essere indotti a pensare che anche il rischio associato abbia dei valori trascurabili. Così purtroppo non è, perché il danno potenziale ha un valore talmente importante da

¹⁴ fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9mant%C3%A8lement

¹⁵ www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/054000069/index.shtml

¹⁶ lesrapports.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/054000069/0000.pdf

¹⁷ www.europarl.europa.eu/stoa/archive/summaries/20001701_it.pdf

rendere non trascurabile il rischio. Ecco perchè l'industria nucleare dedica notevoli sforzi all'identificazione dell'albero di tutti gli eventi possibili: è necessario quantificare precisamente la probabilità di ogni evento al fine di minimizzarla, a fronte delle conseguenze dell'evento. In questo processo, però, si trascura l'elemento essenziale dell'accettabilità di questo danno da parte delle popolazioni esposte al rischio: ad esse si chiede l'accettazione del rischio (minimo) e non la disponibilità a subire il danno (totale); in questo risiede l'inganno antidemocratico dell'industria nucleare.

Esiste poi una caratteristica peculiare delle materie radioattive rilasciate nella biosfera ed è la a-spazialità e la a-temporalità. I radionuclidi emessi da una ciminiera o da una condotta sottomarina possono percorrere migliaia di km (vedi ad esempio il cesio di Chernobyl) prima di precipitare al suolo, concentrarsi in un fondovalle o in un anello della catena alimentare, e dare luogo a dei punti di accumulo con valori ben superiori al valore medio annunciato. Analogamente, la nozione di causa-effetto, insita nell'esperienza umana, cessa di avere un carattere sincronico fra evento e conseguenza per assumere, nel caso nucleare, un'essenziale separazione temporale fra l'evento, oggi, e le conseguenze, decine d'anni dopo. Questa separazione preclude, nella maggior parte dei casi, la possibilità di associare una responsabilità causale ad una conseguenza che si verifichi anni dopo: il principio sociale della sanzione per la responsabilità di un danno risulta così spezzato in nome del cosiddetto benessere collettivo.

PROLIFERAZIONE

L'industria nucleare trae le sue origini dagli ingenti investimenti dedicati alla ricerca militare, fin dai suoi albori, all'epoca del Progetto Mahattan¹⁸. E' difficile distinguere, anche in seguito, quale parte delle attività di ricerca e sviluppo siano state dedicate al settore civile e quali al settore militare; è comunque evidente una stretta connessione fra le due attività. Venendo a tempi più recenti, le conoscenze scientifiche e tecnologiche in materia di nucleare civile possono essere applicate direttamente allo sviluppo di armi atomiche. Analogamente la circolazione e la relativa disponibilità di materiale fissile facilitano l'accesso a una moltitudine di paesi e/o gruppi interessati allo sviluppo di una filiera nucleare militare.

E' quindi evidente che l'eventuale diffusione di tecnologie ed impianti nucleari non potrebbe che contribuire a questa possibilità di travaso dal comparto civile a quello militare, sia verso paesi sovrani che verso gruppi informali. Il controllo internazionale non potrebbe che risulterne indebolito, ed il rischio di uso intenzionale, involontario, terroristico di questi materiali ne risulterebbe drammaticamente aumentato. Questa, fra altre, è una ragione per il coinvolgimento americano nella gestione degli aiuti all'ex URSS per l'eliminazione di materiale fissile¹⁹, al fine di mantenere un controllo ed evitare eventuali cessione di questi materiali sul mercato nero internazionale.

COSTI ECONOMICI

Uno fra i vari problemi associati all'industria nucleare è la reale quantificazione dei costi dell'unità di energia prodotta, argomento spesso utilizzato per sottolineare il vantaggio del kWh nucleare rispetto a quelli ottenuti da altre fonti energetiche. Molti ostacoli e molte incertezze precludono la possibilità di affermare con sicurezza che il kWh nucleare sia quello più conveniente, da un punto di vista economico. Ad esempio, la stima di 27 c€/kWh recentemente indicata²⁰, integrante anche i costi esterni, porrebbe la generazione elettro-nucleare in un'ottica economica diversa da quella attualmente considerata. Stante questa difficoltà, non tenteremo certo di quantificare i costi, ma ricorderemo soltanto gli elementi di criticità della filiera nucleare, quelli cioè che richiederebbero un approfondimento per arrivare a dei valori realistici.

RICERCA E SVILUPPO

L'indistinguibilità fra ricerca civile e militare, il travaso di conoscenza fra enti pubblici di ricerca e società pubbliche o private responsabili della costruzione e gestione del parco centrali, l'opacità che caratterizza il comparto nucleare, sono tutti elementi che non permettono di quantificare esattamente quale sia l'entità degli investimenti di R&S che devono essere ascritti fra i costi del prodotto finale.

ESTERNALITÀ — COSTI SANITARI

¹⁸ en.wikipedia.org/wiki/Manhattan_project

¹⁹ www.energy.gov/news/5742.htm

²⁰ www.needs-project.org

Come noto, ogni attività industriale genera un impatto sull'ambiente, non necessariamente localizzato spazialmente e temporalmente attorno al punto di emissione. L'impatto, o danno, occasionerà dei costi che normalmente saranno sostenuti da organismi o persone diverse da quelle responsabili delle emissioni. Si sta facendo strada il principio di inclusione di questi costi (i cosiddetti costi esterni) fra i costi dell'attività industriale stessa (sotto forma di imposte), in modo da permettere una quantificazione precisa dei costi del prodotto. In quest'ottica, il costo dell'elettricità nucleare potrebbe essere destinato a variare rispetto ai costi odierni, per tener conto, ad esempio, dei veri costi sanitari occasionati dal rilascio di materiali radioattivi con conseguenze sulla sanità pubblica. Potremmo ancora ricordare che, ad esempio, nessuna compagnia di assicurazione è disponibile a fornire una copertura all'industria nucleare: perchè? Difficoltà nella stima dei rischi? Enormità dell'esposizione in caso di evento catastrofico?

SMANTELLAMENTO — GESTIONE DELLE SCORIE

Come già detto sopra, il problema dello smantellamento delle centrali alla fine del ciclo di vita si rivela assai più oneroso di quanto non fosse stato stimato per accantonare le somme necessarie ed includerle nel costo finale del kWh; cifre 10-20 volte superiori alle stime possono cambiare radicalmente il bilancio economico, lasciando alle generazioni future (quelle che dovranno farsi carico dello smantellamento e della gestione delle scorie) la responsabilità di sostenere questi costi imprevisti. La gestione delle scorie, poi, è un capitolo aperto ed irrisolto: ogni tentativo di quantificarne i costi sarebbe ovviamente caratterizzato da larga incertezza.

RICADUTE OCCUPAZIONALI

La creazione di posti di lavoro, associata all'industria nucleare, è altresì controversa. Un recente studio²¹ ha analizzato gli effetti economico occupazionali di un piano di sviluppo nucleare su vasta scala (costruzione di 52 nuovi reattori con unità di fabbricazione combustibile e ritrattamento scorie). Si può stimare la reazione di 1.3 posti di lavoro per MW di potenza installata in fase di operazione delle centrali, mentre 3.7 posti/MW sarebbero creati in fase di costruzione; questi valori sono da confrontare, ad esempio, con i 3-3.5/MW per l'industria eolica²².

DESIDERABILITA' SOCIALE

L'opzione energetica nucleare tralasciando le caratteristiche tecnico economiche viste sopra, apre una serie di interrogativi relativi alla sua dimensione politico sociale. Ancor più che nel caso delle centrali utilizzanti fonti fossili, le centrali nucleari sono ipotizzabili unicamente in uno scenario di alta centralizzazione:

■ centralizzazione dei siti, a causa della scarsa accettazione sociale, della necessità di realizzare centrali di grande potenza per raggiungere obiettivi economici, del carattere strategico (difesa) delle installazioni;

■ centralizzazione delle conoscenze, a causa dell'elevato contenuto tecnologico e del valore strategico: pochi detentori delle chiavi di lettura, creazione di un neo-colonialismo tecnologico, controllo del ciclo dei combustibili (e, quindi, arma di controllo) nei confronti dei paesi utilizzatori della tecnologia ma non detentori delle conoscenze;

■ centralizzazione della cultura, o creazione di una monocultura energetica, in quanto l'opzione nucleare si regge unicamente in scenari ad alta penetrazione (come, ad esempio, nel caso francese) con un'intrinseca fragilizzazione del sistema.

Questi, fra altri, sono tutti elementi che assumono una dimensione politica nel momento in cui la scelta *centrale* impone una tecnologia *centralizzata* controllata e gestita da una ristretta cerchia tecnocratica. Il cittadino ne risulta escluso per mancanza di conoscenza, per i rapporti di forza squilibrati, ..., ed è quindi oggetto di un progetto intrinsecamente antidemocratico.

La scarsa flessibilità del sistema nucleare (circa 15 anni per il progetto e la costruzione di una centrale che funzionerà per 30-50 anni) impedisce poi un rapido adattamento del sistema a sopravvenuti cambiamenti socio politico ambientali. Dal punto di vista del principio di precauzione (unicamente nella

²¹ www.nuclearcompetitiveness.org/images/Oxford_State_Benefits_2008.pdf

²² mitre.energyprojects.net

sua accezione di scelta tecnologica e non del rischio associato), la scelta nucleare costituisce una scelta con ritorno molto difficile (impossibile, ovviamente, nel caso di incidenti gravi): ogni decisione dovrebbe quindi essere pesata e valutata attentissimamente alla luce di questa inerzia essenziale.

L'opzione nucleare, poi, si rivela incompatibile con qualunque ipotesi di decrescita, perchè trova la sua ragion d'essere nel postulato della costanza e necessità di consumo, irrigidisce il sistema energetico e nega ogni possibilità di auto-adattamento ed auto-regolazione interna.

SOSTENIBILITA' ED INDIPENDENZA

La scelta nucleare, spesso propagandata come fonte energetica inesauribile e come modalità per raggiungere l'indipendenza energetica, risente in realtà di problemi analoghi a quelli delle fonti energetiche rinnovabili. La disponibilità di uranio fissile è limitata e può essere stimata²³ in una quantità equivalente, in contenuto energetico, ai giacimenti petroliferi, se usato nei reattori ordinari (PWR); la disponibilità aumenterebbe se venisse usato nei reattori autofertilizzanti, ma i pochi esempi sperimentali non hanno avuto successo.

La pretesa indipendenza energetica conseguibile con l'opzione nucleare consisterebbe poi a trasferire la dipendenza dai paesi produttori di petrolio a quelli produttori di uranio (USA, Sud Africa, Australia, Canada e, in una certa misura, URSS e Cina), senza nessun beneficio apparente in quanto a indipendenza.

Note redatte da Emanuele Negro (emanuele@negro.name) tratte dal seminario di Nanni Salio (nanni@serenoregis.org)

²³ L. Sertorio, *Cento Watt per il prossimo miliardo di anni*, Boringhieri (2008)