





a cura di
RICCARDO CASALE

"RISORGIMENTO" NUCLEARE?!

PREFAZIONE
ON. SANDRO GOZI



Stampato nel mese di febbraio 2009
presso la Stamperia Lampo - Roma

Tiratura: 1.200 copie.

I Quaderni LDE sono distribuiti gratuitamente ad una lista selezionata di politici, economisti, amministratori pubblici, accademici, imprenditori e dirigenti d'azienda, giornalisti. Possono ugualmente essere richiesti all'associazione, al prezzo di 5 € per copia, scrivendo a: info@laboratorio-democraticoeuropeo.it.

Indice

Prefazione	
Sandro Gozi	7
“Risorgimento” nucleare?!	
Riccardo Casale	15
Il nucleare nella politica energetica europea	
Dominique Ristori	29
Obiettivi e sviluppo del programma nucleare nazionale	
Sergio Garribba	39
Il nucleare nel mondo: analisi di tempi e costi	
Alessandro Clerici	45
Energia nucleare oggi nel mondo: stato e prospettive di sviluppo	
Stefano Monti	77
Nuovo nucleare: il caso Finlandia	
Silvio Borsetti e Marco Ricotti	97
Nucleare in Italia: le strozzature da rimuovere	
Roberto Adinolfi	111
La terza rivoluzione energetica	
Marco Graziano e Henri Zaccai	125
Il rinascimento nucleare negli USA e l'AP 1000	
Paolo Gaio	139
L'impegno nucleare di EDF in Francia e nel mondo	
Bruno D'Onghia	149
Il reattore IRIS	
Mario Carelli e Carlo Lombardi	157

I reattori nucleari di nuova generazione	
Luciano Cinotti e Silvia De Grandis	173
Alternative energetiche in Piemonte	
Agostino Mathis	183
Il deposito definitivo dei materiali e rifiuti radioattivi	
Piero Risoluti	197
Gestione dei rifiuti radioattivi	
Francesco Troiani	217
La formazione delle risorse umane per l'energia nucleare in Italia	
Giuseppe Forasassi	227
Indice Autori	241
Carta del Laboratorio Democratico Europeo	243

Prefazione

La volatilità del prezzo del petrolio e l'evidenza ormai clamorosa dei mutamenti climatici e della loro origine hanno posto la questione energetica al centro del dibattito politico in tutto il mondo.

L'insostenibilità sia economica sia ambientale dell'attuale modello energetico, basato largamente sulla dipendenza dal petrolio e dalle altre fonti fossili, determina in questo campo un'indiscutibile, inedita coincidenza tra interesse economico e interesse ambientale: oggi come non mai, infatti, operare per ridurre l'uso delle fonti fossili e in generale per contenere l'aumento dei consumi energetici, è indispensabile non solo per fermare il "global warming" e così minimizzarne i costi ambientali, sociali, economici, ma anche per scongiurare il pericolo imminente di un collasso dell'economia mondiale. L'Europa, spinta dalla propria condizione oggettiva che la vede importatrice di gran parte dell'energia fossile che consuma, nonché da una più acuta consapevolezza della gravità dei problemi connessi ai mutamenti climatici, si colloca come capofila nel panorama internazionale nella difficile sfida di un'accelerazione dell'uscita dall' "era fossile".

Molti paesi europei hanno avviato strategie impegnative volte a modificare il proprio mix energetico e a migliorare l'efficienza degli usi energetici. La recente approvazione del pacchetto 20/20/20 (20% di riduzione delle emissioni di CO₂, 20% di risparmio energetico, 20% di produzione di energia da fonti rinnovabili), ci impone un decisivo cambio di marcia, poiché la "rivoluzione energetica" su cui si sta impegnando l'Europa non solo è indispensabile per fare bene la parte che ci compete come Paesi in-

dustrializzati nella lotta ai cambiamenti climatici, ma è anche una grande frontiera di innovazione tecnologica, di competizione economica, di industrializzazione. È anche questo il motivo per cui alcuni paesi hanno assunto obiettivi ancora più ambiziosi. La Germania, ad esempio, si è impegnata unilateralmente a ridurre le sue emissioni del 40% entro il 2020; il Regno Unito del 30% entro il 2020 e dell'80% entro il 2050. Lo scenario energetico italiano presenta anche tratti peculiari e specifiche criticità, a cominciare da un trend dei consumi in forte aumento. Nei cinque anni dal 2000 al 2005, secondo quanto rileva l'Istat, i consumi pro-capite di energia elettrica sono aumentati del 5,5% e quelli di gas dell'8,9%. Incrementi significativi, resi tanto più preoccupanti dal fatto che negli ultimi dieci-quindici anni il dato italiano dell'intensità energetica (rapporto tra consumi energetici e valore del Pil) è rimasto pressoché stabile, a fronte di sensibili miglioramenti registrati in quasi tutti gli altri Paesi europei. Oggi, l'efficienza energetica rappresenta probabilmente la più significativa declinazione della strategia di sviluppo del nostro Paese nel breve termine. Un altro terreno su cui negli ultimi anni l'Italia ha visto allargarsi il proprio divario da molti Paesi europei è lo sviluppo delle energie rinnovabili e in particolare del solare. Malgrado lo "zoccolo duro" del vecchio idroelettrico e della geotermia, oggi in Italia il contributo delle rinnovabili alla produzione energetica primaria è di poco superiore al 5%, e sia nell'eolico, che soprattutto nel solare termico e nel fotovoltaico, siamo stati largamente distanziati da Paesi come la Germania e la Spagna. Dal confronto con i Paesi industrializzati emerge l'anomalia italiana: siamo il Paese occidentale che utilizza più gas, ma l'Italia è ormai povera di gas. I primi giacimenti sono andati esaurendosi e le scoperte più recenti non sono state sufficienti a bloccare il continuo declino della produzione interna: nel 1996 si estraevano ancora venti miliardi di metri cubi, nel 2006 soltanto 10,9 milioni, che consentono di coprire solo il 12,5%

dei consumi interni, contro il 40% di dieci anni prima. A peggiorare la situazione, c'è la forte rigidità del nostro sistema di approvvigionamento: gran parte del gas che importiamo arriva da due soli Paesi, Russia e Algeria, e la mancanza di rigassificatori attribuisce ai nostri fornitori un potere contrattuale smisurato. Come conseguenza dell'attuale situazione, l'Italia si trova ad avere: - alti costi dell'energia: il sistema tariffario italiano è caratterizzato da molti oneri spesso impropri e da prezzi inferiori alla media europea per alcune utenze domestiche, ma superiori per le utenze industriali. I costi di energia elettrica per la nostra piccola-media industria nelle diverse classi di consumo da 50 MWh a 2 GWh (fascia che copre il 90% della piccola-media industria italiana), al lordo delle imposte sono più elevati della media europea del 20-46%. - un modello energetico ad elevato impatto sull'ambiente e sul clima. Con la firma del Protocollo di Kyoto l'Italia si è impegnata a ridurre le emissioni di anidride carbonica del 6,5% entro il 2012 rispetto ai livelli del 1990. Finora non solo non ci siamo avvicinati all'obiettivo, ma ce ne siamo allontanati: al 2006 le nostre emissioni erano cresciute di circa il 10% rispetto al 1990. Il ritardo del nostro Paese rispetto agli obiettivi di Kyoto è anche un costo economico: se non si lavora subito per rimediare a questo ritardo, nel 2012 ci troveremo a dover pagare una multa di circa 7 miliardi di euro.

Avviare il processo di modernizzazione del sistema energetico

Questa condizione di fragilità, di inefficienza, di arretratezza del nostro sistema energetico, non è più sostenibile.

Quali allora le azioni più urgenti e più utili per cominciare ad uscirne? È necessario avviare uno sforzo coordinato e straordinario di modernizzazione e innovazione dell'intero sistema energe-

tico: investendo in ricerca e sviluppo, mobilitando risorse sia pubbliche che private, incentivando lo sviluppo delle energie rinnovabili, promuovendo e sostenendo programmi di miglioramento dell'efficienza energetica, sia dal lato della produzione che da quello dei consumi. Fondamentale in quest'ottica è ridefinire in maniera sostanziale la struttura delle fonti di approvvigionamento energetico. In questo contesto va considerato il "nuovo nucleare". L'opzione del futuro del nucleare va affrontata con un approccio non ideologico. In questo quadro, a livello internazionale sono state lanciate negli ultimi anni iniziative a supporto dello sviluppo di reattori di quarta generazione fra cui si ricorda, di particolare rilevanza, l'iniziativa Generation IV, appunto, lanciata nel 2000 dall'U.S. Department of Energy (DOE), il Global Nuclear Energy Programme (GNEP) e la Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP). L'Italia ha firmato i protocolli GNEP con il governo di centrosinistra uscente *ed ha aderito alla SNETP*. È utile, e anzi necessario, che il nostro paese, con i suoi centri di ricerca e con la sua industria nazionale, s'impegni con forza sempre maggiore sulla ricerca per la fissione di nuova generazione. È importante consolidare il sistema delle competenze tecnico-scientifiche legate al nucleare, a partire dal potenziamento della ricerca e della costituzione di un'autorità di sicurezza in grado di poter trattare in modo indipendente e coerente le problematiche del ciclo del combustibile, con specifico riguardo alla scelta del sito per lo stoccaggio dei rifiuti. Nel merito, invece, per rendere credibile l'opzione nucleare appare necessario risolvere almeno alcune forti criticità, connesse alla sicurezza, alla partecipazione dell'industria nazionale, all'economicità, alla costruzione del necessario consenso sociale e alla ricerca. Ma sono criticità che vanno affrontate senza pregiudizi, con coscienza e razionalità, in un'ottica di lungo periodo e nell'interesse del nostro Paese e del nostro continente. L'attuale situazione mondiale e l'ancor peggiore situazione italiana richiedono

una lunga e lucida riflessione, che possa portare con il consenso di tutti gli attori coinvolti ad una visione nuova e moderna. È arrivato il momento di riconoscerlo di agire di conseguenza.

On. Sandro Gozi

Sandro Gozi è deputato della Camera e ricopre l'incarico di Capogruppo del PD in seno alla Commissione per le Politiche UE. È il Presidente del Laboratorio Democratico Europeo.



"RISORGIMENTO" NUCLEARE?!



“Risorgimento” nucleare?!

Riccardo Casale*

IRIDE Energia ha seguito con grande attenzione le recenti evoluzioni del dibattito nazionale. Lo abbiamo fatto con crescente interesse consci come siamo che dalle decisioni che verranno prese nei prossimi mesi dipenderanno il futuro del Paese, dell'ambiente, del nostro sistema economico-industriale, dei nostri giovani e delle prossime generazioni oltreché le strategie aziendali di medio e lungo periodo. Per una azienda innovativa è fondamentale essere sempre in contatto con le evoluzioni del settore. Durante gli ultimi mesi la necessità di capire, di approfondire, di analizzare dati e scenari si era fatta pressante ecco allora infittirsi le riunioni, i dialoghi, i confronti. Questa monografia rappresenta il contributo che IRIDE Energia vuol apportare al dibattito ma al tempo stesso può essere vista anche come il resoconto di una serie di discussioni con colleghi e amici esperti del settore.

Il 2008 non è stato un anno qualunque e sarà ricordato per molti motivi che vanno dalla crisi finanziaria ed economica all'elezione del nuovo presidente degli USA. Per quello che riguarda l'energia si va dagli utili record delle società energetiche alle variazioni del prezzo del petrolio che dall'estate all'inverno ha perso più di 100\$ al barile. Nel nostro Paese quest'anno potrà anche essere ricordato come quello della riapertura di un dibattito aperto e controverso, a volte ancora troppo ideologico, sulla politica energetica e sull'energia nucleare in particolare. Se su rinnovabili, risparmio energetico ed efficienza va dato atto al precedente Governo Prodi di aver fatto la prima mossa, sul nucleare il merito è dell'attuale Governo ed in particolare del Ministro per lo Sviluppo Economico che con forza ha ri-

* Presidente di IRIDE Energia e Consigliere ENEA

proposto il tema all'attenzione dei cittadini riprendendo le posizioni già abbozzate nel 2005.

La sicurezza energetica, in termini geopolitici (gli approvvigionamenti), in termini ambientali (le emissioni) ed in termini economici (i costi) è diventata il punto numero uno nell'agenda dei governi di tutto il mondo, il punto dal quale vengono declinate la politica estera così come quella economica ed industriale. Di energia si occupano non solo i governi nazionali, ma anche e soprattutto le istituzioni internazionali, quelle regionali e perfino quelle locali. Insomma l'energia, le politiche che la impostano e la reggono, le infrastrutture relative, è il fulcro attorno al quale ruota quell'economia reale la cui ripresa rappresenta l'unica via di fuga dall'enorme crisi dell'economia di carta, della finanza, con buona pace di chi in estate con il petrolio a 150\$ speculava ancora prenotandolo a 200\$ per fine anno.

Tuttavia questa crisi dell'energia, della quale oggi nel nostro Paese tutti hanno piena coscienza, da dove deriva veramente? Si possono dare molte risposte oppure affrontare il quesito attraverso diverse chiavi di lettura, certo è che visti i tempi lunghi dei cicli delle tecnologie energetiche non basta guardarsi indietro di qualche anno, ma occorre analizzare i decenni, cercare di capire quello che è successo, o non è successo, anche per evitare errori del passato. Autorevoli opinioni sono state espresse¹, noi proponiamo la chiave di lettura "nucleare" che a nostro avviso è illuminante per comprendere questo problema ma che è anche paradigmatica del più ampio rapporto del nostro Paese con la scienza e la tecnologia e delle relazioni tra mondo della ricerca e quello della politica. Al riguardo uno sguardo alla storia ci può aiutare.

All'indomani della Conferenza di Ginevra "Atomo per la pace" del '53 voluta dal Presidente americano Eisenhower le intuizioni di

¹ Su tutti: A. Clò, "Il rebus energetico", Il Mulino, 2008.

due importanti personaggi della storia industriale del nostro Paese quali Ippolito e Mattei furono determinanti. Mentre Ippolito creava il CNEN e metteva a sistema tutte le migliori intelligenze, Mattei costituiva l'Agip Nucleare arruolando uno staff di esperti e scienziati con una campagna di reclutamento dal titolo: "gli ingegneri migliori per le carriere nucleari". In sintesi, queste iniziative misero in moto l'industria nucleare, con tutte le benefiche e virtuose ricadute sul sistema industriale, ma al contempo diedero anche il via alla cosiddetta "guerra della filiere", vale a dire una lunga diatriba su quale tecnologia scegliere per le centrali del futuro. La motivazione ufficiale era quella di provare tutte le tre filiere principali impiegate in quegli anni per le centrali nucleari per verificare sul campo quella migliore per le esigenze italiane²; in realtà gli storici contemporanei ormai concordano sul fatto che gli interessi in gioco fossero più di natura politica. Tali interessi si incrociarono con la questione della nazionalizzazione dell'energia elettrica in Italia e con la lotta senza esclusione di colpi dei privati contro i due grandi gruppi pubblici ENI ed IRI. Più in generale, ma sinteticamente, quelli sono gli anni nei quali si gioca la partita fondamentale dell'orientamento del tipo di sviluppo del Paese, si fronteggiavano due approcci opposti: da un lato quello innovativo con ricerca e sviluppo tecnologico condotte in proprio, dall'altro quello conservativo che prevede l'acquisto dei risultati della ricerca fatta da altri. La storia dei successivi decenni ci insegna che prevalse il secondo modello. Il nucleare in que-

² Mattei scelse la filiera inglese MAGNOX per non essere condizionato, anche nel nucleare come già accadeva per il petrolio, dal capitale americano e per perseguire una scelta europea piuttosto che atlantica. Così la prima centrale italiana (1963), quella di Latina, fu costruita dalla SIMEA (Società Italiana Meridionale per l'Energia Atomica) che faceva capo per il 75% all'Agip Nucleare e per il 25% all'IRI. Le altre due centrali costruite negli stessi anni furono invece di derivazione americana: quella di Gargliano, entrata in produzione nel 1964 (BWR) era su progetto della General Electric mentre quella di Trino Vercellese (PWR) di concezione e progettazione Westinghouse entrava in produzione nel 1966.

sto non è stato d'aiuto e a posteriori si può affermare che la scelta di tre filiere diverse si è rilevata perdente: ha verosimilmente bloccato per anni ogni possibile iniziativa di forti soggetti industriali italiani di settore e ha rallentato uno sviluppo che nel frattempo faceva balzi da gigante altrove. Basti pensare che agli inizi degli anni settanta il Governo francese decise, senza successivi ripensamenti, quale sistema adottare (PWR) permettendo alla Francia ed alle sue aziende di divenire leader mondiali nel settore. In Italia invece si è perso tempo; si consideri che la quarta e ultima centrale italiana entrata in funzione è stata quella di Corso, nel 1981, ben 15 anni dopo quella di Trino Vercellese. Ad incidere inoltre sul rilevante rallentamento delle attività fu il "caso Ippolito"³, che per dieci anni bloccò di fatto il progredire del nucleare nostrano.

Dopo un decennio di tribunali e tentennamenti vari ci volle infatti il primo shock petrolifero del '73 (un po' come il barile a 150\$ dell'estate 2008) per ridare linfa vitale al nucleare. Le azioni fino ad allora intraprese vennero contestualizzate dal Piano Energetico Nazionale (PEN) presentato nel '75 e approvato dal Cipe nel dicembre '77; tale piano nella sua formulazione originale puntava a coprire con il nucleare il 65% del fabbisogno di energia elettrica previsto per il Paese al 1990 e prevedeva la costruzione di 20 centrali. Anche il PEN successivo presentato nel 1981, aggiornato cinque anni dopo e approvato dal Cipe nel marzo del 1986, prevedeva un massiccio ricorso a nucleare e carbone. Attuazione anche in questo caso faticosa, già si intravedevano alcuni problemi e l'incidente di Chernobyl (26 aprile 1986) avrebbe dato la spallata finale alla parte nucleare del piano che, a dispetto della storia, presentava un aspetto positivo: per la prima volta veniva risolto il problema della scelta delle "filiere" per i futuri impianti nucleari si sceglieva un tipo unico di reattore ad acqua pressurizzata (PWR) secondo la tecnologia

³ O. Barrese, "Un complotto nucleare", Newton Compton, 1981.

della Westinghouse, licenziata all'Ansaldo facendo diventare finalmente un vero e proprio "sistema" il complesso delle industrie italiane del settore. Tutto inutile, il tempo era scaduto. Nel settembre del 1986 si sostennero decisamente i programmi di potenziamento dell'uso del metano nelle centrali elettriche; metano ritenuto più sicuro e pulito dell'atomo e anche più a buon mercato (venne completamente trascurato il fatto che già allora il prezzo del gas era in continua ascesa). In ogni caso si era ormai oggettivamente entrati in una spirale negativa nei confronti dell'atomo. Se l'incidente di Chernobyl aveva innescato in tutti i Paesi industrializzati un serio e doveroso ripensamento, in Italia furono le emozioni a farla da padrone, si generò una crescente diffidenza alimentata anche dall'incertezza decisionale della politica, di governo come di opposizione, con l'aggiunta delle strumentalizzazioni e delle fobie movimentiste.

Il virus del '900, l'"ideolog-ismo", che si era appena placato nelle sue manifestazioni più aggressive del fasc-ismo e del comun-ismo, invece di lasciare spazio alla logica della ragione stava infatti per riuscire fuori sotto altre vesti fuorvianti quali quelle dell'ambientalismo e forse anche del nuclear-ismo. In questo clima confuso, allarmato, il Ministro dell'Industria, il liberale Zanone, decise la convocazione per il febbraio dell'87 della Conferenza nazionale sull'energia con il fine di arrivare a una strategia condivisa. La Conferenza si avvale del prezioso lavoro di "12 saggi" tra i quali personalità di altissimo profilo quali Leopoldo Elia, Paolo Baffi e Umberto Veronesi. Di fatto il prezioso lavoro degli scienziati e le conclusioni alle quali giunsero non vennero tenute in considerazione, forse neppure lette. La Conferenza si concluse con il Ministro Zanone ottimista sulla possibilità di attuazione del PEN che includeva il nucleare e socialisti e socialdemocratici convinti, invece, che era stata dimostrata l'infattibilità del programma atomico. Con alle spalle questa netta contrapposizione, il Ministro propose tre linee di intervento da recepire in un nuovo PEN, sostitutivo di quello in essere.

Il nuovo piano energetico avrebbe dovuto muoversi su tre fondamenti: incremento delle fonti rinnovabili; risparmio energetico; ricorso equilibrato a carbone, petrolio, gas e nucleare. L'attuazione di quelle lungimiranti ed innovative conclusioni, valide ed attuali ancor oggi, avrebbe posto il Paese in una posizione di avanguardia privilegiata. Purtroppo anche quella volta non andò così.

È in questo contesto che maturò il successivo referendum del novembre 1987 che cadde tra l'altro in un periodo reso più pesante dalle paure elettorali dei partiti. La DC era molto preoccupata di perdere consensi senza l'appoggio delle sue frange ambientaliste, mentre il PCI (storicamente difensore del nucleare insieme ai repubblicani di Ugo La Malfa) stava già perdendo la bussola e identificava nell'ambientalismo crescente la tradizionale angoscia di essere scavalcato a sinistra dai socialisti che invece avevano fatto una netta scelta anti-nucleare. L'insieme di queste spinte interne e trasversali agli schieramenti politici di allora coprì un'altra anomalia del dibattito, vale a dire l'impossibilità di indire un referendum chiaramente abrogativo sul nucleare, in quanto materia regolata da norme comunitarie in base al Trattato Euratom firmato negli anni '50. Questa è l'origine della strana definizione degli interrogativi posti ai cittadini chiamati a votare. Nessuno dei quesiti contenuti nelle tre schede poneva in gioco formalmente e con chiarezza la scelta a favore o contro il nucleare⁴. Sebbene a ben guardare soltanto una risicata maggioranza degli aventi diritto votò a favore dei quesiti abrogativi, il risultato⁵ fu comunque interpretato, probabilmente in quel tempo

⁴ Come è noto il primo riguardava l'abrogazione delle norme che consentivano al Cipe di decidere sulla localizzazione delle centrali nel caso non lo facessero le Regioni nei tempi stabiliti dalla legge. Il secondo l'abrogazione dei compensi ai comuni che ospitavano centrali nucleari o a carbone. Il terzo l'abrogazione delle norme che consentivano all'Enel di partecipare ad accordi internazionali per la costruzione e la gestione di centrali nucleari.

⁵ Votanti 65% degli aventi diritto. Voti favorevoli all'abrogazione delle norme mediamente 75%.

con ragione, come un rigetto del nucleare da parte dei cittadini. Il referendum tuttavia, sia nella sua impostazione, con i suoi tre interrogativi puntuali ma vaghi al tempo stesso e quindi aperti a qualsiasi interpretazione, sia nei risultati del voto, non aveva risolto la domanda di fondo e cioè se l'Italia voleva veramente uscire dal nucleare o meno. Tanta confusione fu eliminata con un decisione salomonica ad ampia maggioranza parlamentare che prevedeva, oltre alla moratoria per 5 anni delle nuove costruzioni nucleari, l'immediata sospensione dei lavori di costruzione di Trino2, la chiusura della centrale di Latina, un nuovo approfondito esame dei sistemi di sicurezza di Caorso e Trino1, la possibile riconversione di Montalto, quasi ultimata, da nucleare a metano. Se la moratoria aveva tutte le ragioni per essere attuata il resto non rientra nel campo della logica ma in quello della follia. In qualche modo, "all'italiana", si metteva quindi fine al nucleare in Italia, una fine per certi versi preannunciata come abbiamo visto quasi un quarto di secolo prima quando nell'estate del 1963 scoppiava, dal nulla, il caso Ippolito.

Il nucleare paradigmatico del Paese dicevamo nell'introduzione: il nucleare paradigmatico di istituzioni deboli che assumono importanti decisioni (i vari PEN) e poi non sono capaci di attuarle; il nucleare paradigmatico di un paese che non investe in ricerca, che fa scappare i suoi cervelli cercando poi inutilmente e velleitariamente di riacchiapparli, di un paese con bassa propensione al rischio d'impresa e che ancor oggi è fanalino di coda per investimenti in RST sia pubblici che privati. Paradigmatico, già allora, di una giustizia zoppicante: Ippolito accusato di ogni male, perseguitato da un pubblico ministero zelante, condannato in primo grado ad undici anni per poi vedere confermata in ultima istanza solo l'uso improprio di un mezzo di servizio! Ma qual'era stata allora la vera colpa di Ippolito? In buona sostanza quella di essere indipendente dalla politica, di essere un funzionalista che premiava la meritocrazia e di non voler rendere la scienza e l'organizzazione della ricerca, nella quale era

bravissimo, subalterna alla politica. Ippolito vittima del “complotto petrolifero” come Mattei? Secondo Paoloni⁶ in realtà di questo non c'è evidenza, piuttosto vittima di trame tra correnti democristiane nella fase di nazionalizzazione dell'energia elettrica. Paradigma del paese culla del diritto diventato regno dei legulei, con un impianto legislativo-normativo talmente complicato da far sì che i convegni sul nucleare invece che essere organizzati dagli scienziati lo sono dagli studi legali: non succede in nessun paese del mondo. Il nucleare paradigmatico di un paese che preferisce ascoltare ciò che gli piace piuttosto che guardare la realtà. Credere alle profezie della diminuzione della domanda di energia elettrica⁷ piuttosto che alle serie previsioni della Commissione Baffi che consigliava di aumentare la potenza installata e suggeriva di mantenere un presidio di potenza nucleare.

Quanto sia costata poi la maldestra gestione politica del nucleare italiano è stato oggetto di molte stime, alcune attendibili altre controverse; limitandoci solo alla fase post referendum si rischia di sbagliare per difetto parlando di cifre vicine ai 50 miliardi di Euro di oggi⁸. Per i costi e gli sprechi della fase precedente rimandiamo all'insuperabile ed introvabile saggio di Silvestri⁹. Senza dubbio va però considerato aggiuntivamente l'influsso negativo che un'energia elettrica prodotta a costi altissimi (dal 20 al 40% in più rispetto agli altri paesi europei) ha avuto sulla competitività delle aziende italiane.

Ai convulsi decenni rapidamente passati in rassegna seguono gli anni '90 che senza dubbio influiscono in maniera determinante sul-

⁶ G. Paoloni (a cura di), “Energia, ambiente, innovazione: dal CNRN all'ENEA”, Laterza, 1992.

⁷ Relazioni di M. Scalia e G. Mattioli alla Conferenza nazionale dell'energia del 1987.

⁸ L'ENEA ancora nel 2008 ha liquidato oneri per centinaia di milioni di Euro relativi all'impianto PEC.

⁹ M. Silvestri, “Il costo della menzogna”, Einaudi, 1968.

la nostra attuale (in)sicurezza energetica. Erano gli anni del “dopo Muro di Berlino”, gli anni in cui Fukuyama, l’allievo prediletto di Huntington, parlava della “fine della storia”, ma soprattutto, per quello che riguarda l’energia, il periodo del petrolio a 9 dollari (con i relativi investimenti in RST tendenti a zero) e di insensate e reiterate previsioni di diminuzione dei fabbisogni energetici. Se si aggiunge poi che il primo documento dell’IPCC che parla di impatti delle attività antropiche sul clima è datato 1993 si capisce come la frittata sia stata preparata: un pasticcio globale questa volta, cullati dai falsi profeti, che teorizzavano l’alba del nuovo millennio come inizio dell’era delle energie alternative, non si è investito in ricerca e sviluppo per promuoverle davvero né si sono attivate per tempo coraggiose politiche di contenimento delle emissioni.

Per quello che riguarda le attività nucleari gli ultimi dieci anni sono stati caratterizzati dai tentativi di avviare il decommissioning, ma su questo oneroso e pasticciato capitolo volutamente non ci soffermiamo.

È così che arriviamo rapidamente ai nostri giorni, oggi ci è chiaro che questo non sarà il secolo delle energie alternative. Infatti è abbastanza palese che se ci va bene questo sarà il secolo di uscita dalle fonti fossili, se ci va male sarà il secolo del carbone e delle sabbie bituminose, con buona pace della riduzione delle emissioni sacrificate sull’altare della crescita di chi non può permettersi di non uscire dal sottosviluppo. Del resto quelle stesse fonti di energia che negli anni ‘90 venivano chiamate alternative oggi, con maggiore onestà intellettuale e meno opportunismo, vengono chiamate rinnovabili. La differenza potrebbe sembrare semantica ma in realtà è sostanziale in quanto si è capito che solare, eolico, biomasse e geotermico alternative (a cosa? Alle fonti fossili) non sono per nulla, pur mantenendo l’elevatissimo valore di essere rinnovabili. Quando in questo passaggio culturale prevarrà definitivamente l’onestà intellettuale sull’opportunismo tattico e questi concetti diventeranno patrimonio comune e condiviso dei cittadi-

ni, locali e globali, il grosso del lavoro sarà fatto. Va detto, tuttavia, che siamo ancora lontani e che la comunicazione su questi temi è insufficiente sia in termini quantitativi che qualitativi semi-monopolizzata com'è in questo settore dall'attivismo dei movimenti e dalla latitanza dei veri esperti, i nucleari in particolare timidi e goffi nell'espressione, a volte addirittura impacciati come se veramente fossero colpevoli dei misfatti dei quali sono accusati ingiustamente ed immotivatamente.

L'uscita dal fossile nella produzione elettrica quindi dovrà essere accompagnata, come in parte si sta già facendo, da una rimodulazione dell'utilizzo delle fonti fossili stesse, che tradotto vuol dire prima di tutto sempre meno carbone e olio combustibile (almeno fino a quando le tecnologie CCS non saranno disponibili) a vantaggio del gas (sulle politiche ed i problemi legati al gas non entriamo). Fondamentale inoltre sarà inoltre l'approccio che dovrà essere, a differenza di quello che è stato negli ultimi decenni, deideologizzato e basato su politiche serie e realistiche. Politiche che devono portarci entro vent'anni ad un "energy mix" maggiormente differenziato che si ponga l'obiettivo di un 60% di energia elettrica prodotta da fonti non fossili e di uno spostamento di un buon 25% dei trasporti di persone e merci dalla gomma al ferro. E qui rientra in gioco pesantemente il nucleare, per essere concreti e realisti dobbiamo infatti dire che quel 60% dovrà essere più o meno equamente distribuito tra fonti rinnovabili e nucleare che soltanto insieme possono costituire un sistema alternativo. Da qui la necessità di non ideologizzare le scelte: non ha senso la contrapposizione creata ad arte tra rinnovabili e nucleare, sono due fonti tra loro sinergiche. Insieme per loro natura ci garantiscono la fruibilità dell'energia in maniera assolutamente complementare, il nucleare copre il carico di base che le rinnovabili non possono coprire mentre le rinnovabili assicurano la copertura dei picchi di domanda dove il nucleare non può arrivare; coloro che sostengono che malgrado la geografia sfavorevole la Germania ha il 25% di rinnovabili dicono il vero ma il dato in sé non è significativo perché i tedeschi possono permettersi quella quota di rin-

novabili proprio perché hanno come complemento il 25% di nucleare ed il 25% di carbone che insieme abbassano i costi e stabilizzano la rete. Nucleare e rinnovabili insieme ci daranno la possibilità di aspettare con meno ansia la fusione nucleare e le tecnologie per l'idrogeno che indiscutibilmente è un vettore energetico estremamente interessante ma che verosimilmente non sarà utilizzabile in scala significativa prima di svariati decenni. Allo stesso modo va subito smorzata sul nascere la contrapposizione, ancora una volta tutta italiana, tra nucleare di terza e quarta generazione: per arrivare alla quarta, che senza dubbio è l'orizzonte più promettente e verso il quale tendere, occorre riavviare oggi il sistema con quello che è disponibile sul mercato mondiale, mentre in parallelo si rinverdiscono le competenze, si riallacciano relazioni internazionali, si rilanciano le aziende, si ricreano le autorità pubbliche di controllo. Per entrambi i settori è inoltre più che mai necessario, pena il colonialismo scientifico tecnologico, investire in ricerca e sviluppo: senza adeguati investimenti in RST non vedremo mai nulla di tutto questo e sostituiremmo soltanto il costo integrale dell'importazione del combustibile con quello dell'importazione degli impianti (che a quel punto non saremo nemmeno capaci di gestire). Il potenziamento del sistema di RST inoltre dovrà vedere impegnato non solo il settore pubblico ma anche quello privato, infatti se nel nostro Paese la penuria di fondi per la ricerca ci fa scendere complessivamente sotto l'1% del PIL, confrontato con una media europea del 2%, è vero anche che mentre all'estero nella composizione di quella percentuale le aziende pesano per circa il 65-70% da noi raramente si arriva al 50%. Infine, tutto questo andrà attuato anche se il prezzo in discesa del petrolio dovesse per qualche anno far risultare tali investimenti poco redditizi sul breve periodo. Occorre la capacità di traguardare un orizzonte più lontano nel quale le migliori previsioni dei prezzi perdono completamente senso. Occorre evitare un nuovo paradigma che il nucleare ci lascia intravedere e che con forza rigettiamo, quello di un paese che non crede in se stesso e non pensa di essere capace di poter

gestire un sistema complesso come quello nucleare e che spinge gli esperti nei convegni a dire quasi con rassegnazione che “non è il nucleare ad essere inadatto all’Italia, ma l’Italia ad essere inadatta al nucleare”.

In conclusione, prima di passare rapidamente in rassegna la struttura del lavoro ed i suoi contenuti, alcune considerazioni sull’ambizioso titolo che abbiamo scelto. Molti nel mondo in questo periodo hanno parlato di “Rinascimento nucleare” prendendo a prestito un periodo particolarmente florido della nostra storia. Noi abbiamo scelto “*Risorgimento*” un po’ perché siamo torinesi e genovesi ma soprattutto, ironia a parte, per dare il senso a questa missione, come se si trattasse metaforicamente di fare risorgere la Nazione della scienza e della tecnologia: il nuovo paradigma dell’ottimismo ritrovato, di una nuova generazione che è pronta, capitalizzando l’immensa storia scientifica di questo Paese, ad assumersi l’onere della sfida. Il punto interrogativo del titolo riassume appunto in un carattere il senso della sfida, non è pertanto riferito alla necessità del nucleare, di quello ne siamo convinti, ma piuttosto alla possibilità concreta di realizzare tutto il percorso culturale, scientifico, tecnologico, politico, amministrativo, sociale necessario ad attuarlo. Il punto esclamativo invece è riferito al fatto che, dato uno stabile contesto di riferimento entro il quale inquadrare il giusto rischio d’impresa, noi faremo la nostra parte.

La monografia si snoda quindi attraverso un percorso di sviluppo della conoscenza e di ricerca della comprensione. Fondamentale per noi capire gli scenari istituzionali europei ed italiani, al riguardo i contributi di Ristori e Garribba sono illuminanti. Determinante inquadrare il tutto in un contesto globale ed in questo ci guidano Clerici e Monti. A comprendere la complessità economico-finanziaria ci aiuta ancora Clerici mentre Ricotti analizza quel modello finlandese di cui tanto si parla e che è di sicuro interesse anche per la nostra azienda. Importante per noi era poi capire cosa fanno e cosa pensano i grandi attori, non potendo includerli tutti abbiamo invitato la principale azienda italiana, ANSALDO, il leader mondiale del settore, AREVA, ed il

suo principale concorrente, WESTINGHOUSE, che in Italia vanta una lunga tradizione. Tra i grandi operatori ci è parso che l'esperienza di EDF fosse tra le più significative. Non ci siamo limitati al presente ma siamo andati oltre: Lombardi e Carelli ci hanno presentato IRIS, un gioiellino tecnologico che parla italiano ed è di grandissimo interesse, mentre a Cinotti e De Grandis abbiamo chiesto di spiegarci la IV generazione e, come azienda radicata del Nord-Ovest, abbiamo inoltre apprezzato le interessanti considerazioni di Mathis. Il problema dei rifiuti radioattivi è stato ripreso in molti contributi ma noi, in forza dei principi di etica e di sostenibilità che contraddistinguono il nostro operato aziendale, abbiamo voluto approfondire ed abbiamo chiesto a Risoluti e Troiani di relazionarci su questa controversa questione per arrivare a comprendere come tale problema sia risolvibile e come possa addirittura rappresentare una risorsa. Chiude il quadro, ovviamente non ultimo, Forasassi che, presentandoci la situazione dell'università, ci rende conto della risorsa comunque più importante sulla quale possiamo contare: il capitale umano.

Un saluto di stima ed un ringraziamento particolare per il Prof. Carlo Bernardini che ha avuto l'amabilità di rileggere e commentare questo articolo.

Il ringraziamento, unico ma molto sentito, va indistintamente a tutti gli autori.

Un riconoscimento ed un ringraziamento speciale alla rivista che ci ospita.

Un grazie caloroso ai tanti validissimi ed insostituibili colleghi dell'ENEA.



Il nucleare nella politica energetica europea

Dominique Ristori*

In un momento segnato dalla crisi economica e finanziaria, il Consiglio d'Europa riunitosi il 15 e il 16 ottobre 2008 ha designato come priorità dell'UE la sicurezza dell'approvvigionamento chiedendo che si accelerino i lavori relativi. In questo contesto emerge l'importanza di una buona gestione globale ("Governance") del nucleare e in particolare l'equilibrio che si deve trovare entro la regolamentazione e le decisioni d'investimento nel mercato.

1. Introduzione

Al pari di molti altri paesi nel mondo, tutti gli Stati membri dell'Unione Europea (UE) devono far fronte nel campo dell'energia alla tripla sfida del cambiamento climatico, della sicurezza dell'approvvigionamento e della competitività.

È da molto tempo che il problema della sicurezza dell'approvvigionamento è rimasto offuscato dal dibattito sul cambiamento climatico. Eppure, si commetterebbe un errore se si trascurasse una sfida così importante, ricorrente e comune a tutti gli Stati membri. Per di più, la sicurezza dell'approvvigionamento rischia di diventare maggiormente critica a causa delle implicazioni mondiali del riscaldamento planetario. Si deve tener conto inoltre dell'impatto diretto che la sicurezza dell'approvvigionamento ha sulla competitività delle imprese e sul benessere dei popoli.

In un momento segnato dalla crisi economica e finanziaria, il Consiglio d'Europa riunitosi il 15 e il 16 ottobre 2008 ha designato co-

* Direttore Generale Aggiunto Direzione Generale dell'Energia e dei Trasporti Commissione Europea

me priorità dell'UE la sicurezza dell'approvvigionamento chiedendo che si accelerino i lavori relativi.

In questo contesto emerge l'importanza di una buona gestione globale ("Governance") del nucleare e in particolare l'equilibrio che si deve trovare entro la regolamentazione e le decisioni d'investimento nel mercato.

Prima di definire i ruoli del mercato e delle autorità pubbliche, descriverò brevemente la situazione globale ed europea assieme ai fattori legati al rinnovo d'interesse per il nucleare.

2. La situazione

L'interesse per l'energia nucleare si è rinnovato ed è aumentato sia a livello mondiale sia negli Stati membri dell'UE.

La rinascita dell'energia nucleare si è manifestata nelle economie dei nostri principali partner commerciali come gli Stati Uniti, il Giappone, la Russia e la Cina. Si osserva un interesse crescente nel nucleare nei paesi in via di sviluppo, come l'India, il Sudafrica e nelle regioni del Mediterraneo, del Medio - oriente e dell'America Latina (Argentina e Brasile).

Nell'Unione europea ci sono dei nuovi sviluppi negli Stati membri, come in Francia, Finlandia, Regno Unito, Italia, nei Paesi baltici, in Polonia, Repubblica Ceca, Slovacchia, Ungheria, Slovenia, Bulgaria e Romania.

Dei dibattiti sul nucleare sono stati aperti anche in Germania, Svezia e più recentemente in Belgio.

Già sapendo che i reattori nucleari in operazione nel mondo nel 2007 erano 438, le previsioni indicano che 107 reattori nuovi saranno costruiti da oggi al 2020¹.

¹ Fonte: World Nuclear Association.

3. I fattori legati al rinnovo d'interesse per il nucleare in Europa

L'interesse crescente menzionato prima non sorprende, visto i bisogni attuali di grandi investimenti nelle centrali elettriche e tenendo conto delle caratteristiche intrinseche del nucleare. Fra queste, quella di essere una fonte energetica sempre più competitiva che non genera CO₂, avente inoltre un alto livello di sicurezza d'approvvigionamento.

La produzione d'elettricità nell'Unione europea si basa oggi su carbone, gas, petrolio, nucleare e rinnovabili. Più del 50% del parco attuale delle centrali elettriche dovrà essere rimpiazzato entro il 2030. Questo valore corrisponde a 350 GW (equivalente a 70.000 eoliche da 5 MW o 200 centrali nucleari da 1.700 MW)².

Una buona parte delle centrali nucleari, che in questo momento producono elettricità nell'UE, avrà raggiunto nel 2030 la fine prevista della loro vita operativa. Questo comporterà una riduzione sostanziale delle capacità produttive di elettricità, salvo che delle nuove centrali siano costruite o che le attuali siano, qualora possibile, adattate per prolungare la loro durata di vita.

Gli investimenti devono essere decisi rapidamente se si tiene conto che le procedure d'autorizzazione e la costruzione di una nuova centrale elettrica possono durare fino a dieci anni. Tali investimenti hanno un ciclo di vita compreso fra quaranta e sessant'anni circa. Per questo le decisioni sugli investimenti avranno un valore strategico primordiale. Esse influenzeranno decisamente le emissioni di CO₂, la competitività e la sicurezza d'approvvigionamento.

Negli investimenti per le centrali elettriche, la scelta del nucleare è da considerare, valutando le sue caratteristiche principali:

² "Renouveler la production d'énergie en Europe", Fondazione Robert Schuman 2008.

- Il nucleare è una delle principali fonti d'energia che non emettono anidride carbonica (CO₂), e che produce oggi due terzi dell'elettricità nell'Unione europea senza generare CO₂.
- Fra le fonti energetiche a emissione limitata di CO₂ disponibili nell'Unione europea, il nucleare è la meno costosa ed è anche quella che è meno sensibile ai cambiamenti dei prezzi nei mercati delle materie grezze (l'uranio, in questo caso). L'uso del nucleare protegge quindi le nostre economie dalla volatilità dei prezzi, ciò che diviene sempre più importante se si considerano i record recenti dei prezzi del petrolio.
- Diversificando la natura delle fonti energetiche, il nucleare aiuta ad accrescere la sicurezza d'approvvigionamento dell'Unione europea. Le risorse in uranio saranno sufficienti per molti decenni e si trovano in zone molte diverse della Terra, in particolare in Stati stabili come il Canada e l'Australia.

L'industria europea è il leader mondiale nel campo della tecnologia nucleare. Le competenze europee non si limitano solo alla concezione e alla costruzione di nuovi tipi di reattori nucleari (EPR), ma coprono tutte le fasi del ciclo del combustibile nucleare, inclusi l'arricchimento dell'uranio e il riprocessamento del combustibile usato.

Gli impianti nucleari in Europa includono tutte le disposizioni previste per il controllo delle materie nucleari adempiendo così, in maniera esemplare, all'applicazione del Trattato di non-proliferazione.

4. La 'Governance' del nucleare in Europa

Per riuscire a compiere con successo la transizione verso un sistema energetico a basso tenore d'emissione di CO₂, l'Unione europea deve trovare un equilibrio adeguato tra le decisioni d'investimento nel mercato e la regolamentazione.

Anche se sarà il mercato energetico a compiere la decisione sulle tecnologie e il 'mix energetico', le autorità pubbliche hanno un ruolo vitale che consiste in orientare gli investimenti in favore di un'energia pulita. Esse lo faranno dando degli orientamenti chiari, credibili a lungo termine e accompagnati da un quadro regolamentare appropriato:

- Tramite la nuova politica energetica e ambientale, approvata dal Concilio europeo a marzo 2008, l'UE si è impegnata a mettere in opera l'iniziativa "20-20-20": ridurre d'almeno 20% le emissioni di gas a effetto serra, aumentare la parte delle energie rinnovabili al 20% e migliorare l'efficacia energetica del 20%, con l'obiettivo di realizzare tutto ciò entro il 2020.

Delle azioni concrete sono state proposte dalla Commissione per la sicurezza dell'approvvigionamento nel piano d'azione europeo il 13 novembre 2008 nella seconda analisi strategica della politica energetica. Uno dei primi risultati della nuova politica energetica europea sarà il raggiungimento nel 2020 della quota di due terzi della produzione totale d'elettricità a partire di fonti con debole emissione di gas a effetto serra per mezzo del nucleare e dei rinnovabili.

- La nuova proposta della Commissione sul "sistema comunitario per lo scambio delle quote d'emissione di gas a effetto serra" del 23 gennaio 2008 faciliterà la transizione verso fonti energetiche che, fra l'altro, saranno anche meno dipendenti dalle importazioni. Tale proposizione apporterà, qualora adottata, l'equilibrio adeguato entro la regolamentazione che orienta le scelte e il mercato che investe. Per queste ragioni è importante che l'adozione di tale proposizione si realizzi rapidamente.

Il ruolo dell'UE di continuare a sviluppare il più avanzato dei si-

stemi che inquadrano il nucleare assicurando il rispetto delle normative pertinenti ai diversi aspetti della sicurezza, inclusa la non-proliferazione di armi nucleari.

Queste normative devono essere al più alto livello e ampiamente rispettate in campo internazionale. L'UE deve inoltre contribuire a trovare e realizzare le soluzioni adeguate per le scorie nucleari. Un esempio da considerare è la legge francese del 28 giugno 2006 che stabilisce la politica nazionale per la gestione di tutte le scorie nucleari.

Le questioni essenziali da trattare possono essere descritte nei punti seguenti:

- All'interno dell'UE, l'accento deve essere messo sulla sicurezza nucleare e sulla gestione delle scorie. In pratica si deve sviluppare un approccio comune basato su standard e norme di sicurezza comuni che siano particolarmente esigenti. In quest'ottica, la Commissione presenterà verso la fine del 2008 una proposta di direttiva mirata alla creazione di un sistema comunitario per la sicurezza nucleare. Si deve egualmente garantire la trasparenza dell'informazione in caso d'incidenti. Nel merito delle scorie nucleari, esistono delle soluzioni possibili come il deposito geologico in giacimenti profondi. È necessario sviluppare la ricerca in questo campo.

Altri aspetti importanti sono le procedure d'autorizzazione per l'esercizio degli impianti, il finanziamento e le azioni formative. Su quest'ultimo aspetto, il Foro europeo dell'energia nucleare ha proposto la creazione di una rete di politecnici reputati e di università europee che possa soddisfare la domanda sul mercato del lavoro d'ingegneri e tecnici specializzati nel nucleare.

- All'esterno dell'UE, particolare attenzione deve essere data alla non-proliferazione di armi nucleari. In effetti, bisogna assicurare che la rinascita del nucleare come fonte energetica alternativa non causi una proliferazione di armi nucleari. A questo fine, i

Trattati di non-proliferazione devono essere resi ancora più credibili. L'UE deve essere all'avanguardia e prendere delle posizioni chiare nei confronti dei paesi che non hanno firmato o non rispettano i Trattati di non-proliferazione.

Nel campo dell'arricchimento dell'uranio, si devono sviluppare degli approcci multilaterali con lo scopo di rendere disponibile l'approvvigionamento d'uranio arricchito ai paesi che desiderano sviluppare l'energia nucleare senza che abbiano l'accesso e tantomeno la padronanza della tecnologia dell'arricchimento. Queste saranno le basi che permetteranno a tutti i paesi che lo desiderino di sviluppare il nucleare, sotto controllo dell'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (AIEA), senza il rischio di proliferazione d'armi nucleari.

In questa prospettiva la Commissione europea e l'AIEA hanno deciso nel maggio 2008 di rinforzare sostanzialmente la loro cooperazione.

- Inoltre bisogna riuscire a convincere le opinioni pubbliche del ben fondato del nucleare al quale si oppongono ancora molte reticenze e inquietudini. Per permettere al pubblico di meglio accettare il nucleare, la mancanza d'informazioni adeguate deve essere risolta con la disponibilità di mezzi e contenuti opportuni. È ugualmente necessario un dibattito aperto fra le persone che hanno un ruolo chiave nei molteplici aspetti dell'energia nucleare, come succede già in questo momento nelle riunioni del Foro europeo dell'energia nucleare, che si tengono a Praga e a Bratislava.

In merito alle basi giuridiche e alla scelta dell'energia nucleare, è da notare che il Trattato di Lisbona non intacca il diritto di uno Stato membro a determinare le condizioni di esercizio delle proprie risorse energetiche, a fare le sue scelte fra le diverse fonti energetiche e a organizzare il suo approvvigionamento energetico.

Il Trattato di Lisbona, per contro, offre una nuova base giuridica che permette di adottare delle misure riguardanti il funzionamento del mercato dell'energia, alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico, all'efficacia energetica e allo sviluppo delle energie rinnovabili. Inoltre è stato introdotto un riferimento esplicito alla solidarietà in campo energetico fra Stati membri.

Il Trattato della Comunità Europea per l'Energia Atomica (EURATOM) resta in vigore e intatto, anche con il Trattato di Lisbona. Solo alcune delle sue regole sono modificate tramite un Protocollo per renderle conformi al nuovo quadro istituzionale.

5. Conclusioni

Viviamo in un mondo che sta evolvendo molto rapidamente e dove le questioni energetiche diventano sempre più importanti.

Per i paesi che lo desiderano, il nucleare può contribuire sostanzialmente alla soluzione delle sfide energetiche d'oggi, particolarmente nei campi della lotta al cambiamento climatico, del bisogno di sicurezza dell'approvvigionamento e della sfida rappresentata dalle necessità dalla competizione.

In Europa e nel mondo, l'orientamento è quello d'avere più nucleare in un "mix energetico" diversificato in fonti aventi un debole tasso d'emissione di gas a effetto serra. L'Italia s'inserisce nel contesto europeo, in un modo simile a quello del Regno Unito ("Energy Bill" del gennaio 2008).

La volontà della Commissione, sostenuta dagli Stati membri, dalle altre istituzioni e organizzazioni internazionali, è di proseguire con azioni che permettino la realizzazione di un sistema regolamentare per l'energia nucleare che sia il più sviluppato possibile nei diversi aspetti della sicurezza includendo la non proliferazione di armi nucleari.

Ciò che conta è di sprigionare una volontà politica forte in Europa per raggiungere questi obiettivi. Bisogna inoltre che il proseguimento di una tale politica sia fatto con trasparenza completa per trovare, in seno a dibattiti aperti e costruttivi, le soluzioni le più appropriate. A questo fine tutte le parti interessate devono essere coinvolte ai livelli istituzionali e industriali (produzione e consumazione), includendo la ricerca scientifica, i sindacati, gli ambienti finanziari e la società civile.



Obiettivi e sviluppo del programma nucleare nazionale

Sergio Garribba*

Per rilanciare l'opzione nucleare occorre definire il quadro normativo, ricostruire competenze e istituzioni, formare la necessaria filiera imprenditoriale e tecnica, prevedere soluzioni credibili per i rifiuti radioattivi.

1. Premessa

Deve essere affrontata con decisione e lungimiranza la questione della particolare vulnerabilità e della emergenza energetica che caratterizzano il nostro Paese.

Siamo esposti a tre grandi sfide:

- Garantire certezza e continuità alle forniture di petrolio e di gas naturale a condizioni favorevoli. Rispetto alla media europea i consumi di energia in Italia mostrano un maggiore ricorso a petrolio e gas naturale importati: siamo molto più esposti alle instabilità e ai rischi geopolitici dei mercati internazionali. La bolletta energetica italiana pesa nel 2008 per 55 miliardi di euro e rende negativa la nostra bilancia commerciale:
- Salvaguardare la competitività del sistema produttivo nazionale, che appare minacciata da prezzi e tariffe dell'energia generalmente più elevati nel confronto europeo e internazionale. I prezzi dell'elettricità e del gas per le imprese in Italia sono superiori di un terzo ai prezzi dei maggiori paesi dell'Unione europea.
- Ridurre le emissioni di gas con effetto serra nell'atmosfera per evi-

*Consigliere per le politiche dell'energia, Ministero dello Sviluppo Economico, Roma

tare il surriscaldamento del pianeta. L'Unione europea chiede agli Stati membri che entro il 2020 le sue emissioni di gas serra siano inferiori del 20% rispetto ai valori del 1990, che entro lo stesso anno il contributo delle energie rinnovabili copra almeno il 20% della domanda interna e che i consumi vengano ridotti di almeno il 20% a parità di altre condizioni. Nella risposta al cambiamento climatico l'Italia è in posizione di svantaggio rispetto ad altri paesi europei sia a motivo del mix sfavorevole di fonti di energia, sia degli obiettivi irrealistici di riduzione delle emissioni che deve rispettare.

Di fronte a queste sfide formidabili il Governo intende puntare sulla diversificazione delle fonti e delle aree di approvvigionamento di energia, sull'ammodernamento delle infrastrutture, sull'efficienza e sul risparmio energetico. Non è eludibile la definizione di un programma di azioni che consenta il ritorno dell'energia nucleare.

2. Obiettivi e tempi del programma nucleare nazionale

L'esperienza dei maggiori paesi industrializzati mostra che solo gli impianti nucleari sono in grado di produrre energia elettrica su larga scala, in modo sicuro, a costi competitivi e nel rispetto dell'ambiente.

Tutti i paesi del G8, salvo l'Italia, hanno l'energia nucleare nel loro futuro.

È una scelta da fare nell'interesse del Paese: si vorrebbe che le forze politiche più attente e responsabili dell'opposizione la vogliano condividere contribuendo con idee e proposte.

L'abbandono dell'energia nucleare ha avuto per il nostro Paese costi economici e politici immensi.

La produzione di energia elettrica nel nostro Paese è oggi costi-

tuita per il 50% da gas naturale, il 17% da fonti rinnovabili, il 14% da carbone, il 19% da olio combustibile e fonti ad esso assimilabili. Inoltre l'Italia per soddisfare la sua domanda, importa circa il 14% dell'energia elettrica necessaria. Le importazioni consistono per più della loro metà di energia nucleare.

Per il lungo periodo, orientativamente per gli anni verso il 2030, si vuole puntare a un mix energetico più equilibrato che ci consenta di recuperare sicurezza, competitività e capacità di affrontare la sfida del cambiamento climatico globale. Questo mix elettrico potrebbe essere costituito dal 25% di energia nucleare, dal 25% di fonti rinnovabili, dal 50% di fonti fossili, tra cui gas naturale e carbone pulito.

L'obiettivo di breve periodo è avviare la costruzione del primo impianto nucleare (o dei primi impianti) entro la fine della legislatura.

3. Modifiche legislative necessarie

Per rilanciare l'opzione nucleare occorre definire il quadro normativo, ricostruire competenze e istituzioni, formare la necessaria filiera imprenditoriale e tecnica, prevedere soluzioni credibili per i rifiuti radioattivi.

Il Governo vuole che il programma nucleare italiano venga realizzato nell'ambito di un mercato per l'energia elettrica liberalizzato e concorrenziale. Le imprese di produzione di energia elettrica saranno responsabili della costruzione degli impianti di generazione e della scelta delle soluzioni tecnologiche più adatte.

Le stesse imprese provvederanno a finanziare gli investimenti avvalendosi degli strumenti necessari, tra cui i contratti di fornitura di lungo periodo.

Mediante accantonamenti, a valere sul prezzo di vendita dell'e-

nergia, dovranno essere sostenuti i costi per la sistemazione del combustibile nucleare irraggiato e per lo smantellamento delle centrali nucleari a fine vita.

È necessario creare le condizioni e le opportunità perché:

- Venga costituita un'agenzia nazionale per la sicurezza nucleare che svolga le funzioni e i compiti di autorità nazionale per la regolamentazione tecnica, per il controllo e l'autorizzazione ai fini della sicurezza e della tutela ambientale delle attività concernenti gli impieghi pacifici dell'energia nucleare.
- Vengano definite procedure autorizzative semplici, siano stabiliti criteri per l'individuazione dei siti e misure per la compensazione delle popolazioni residenti in prossimità degli impianti, siano offerte garanzie in caso di eventuali incidenti.

Le misure normative necessarie sono contenute in un disegno di legge sullo sviluppo economico, approvato dalla Camera di deputati e ora in corso di discussione presso il Senato.

4. Costi e tecnologie

L'energia nucleare è una forma di energia ad alta intensità di capitale. Il costo di produzione dell'energia elettrica nucleare è in larga misura (fino all'80%) costituito dall'investimento necessario per la costruzione degli impianti. L'altra parte del costo (orientativamente il 20%) è dovuta all'acquisto del combustibile nucleare, alla sua sistemazione dopo l'uso, alle attività di esercizio e manutenzione degli impianti.

Si stima che il costo di realizzazione di una centrale nucleare da 1500 MWe (megawatt elettrici) possa raggiungere i 3-4 miliardi di euro.

A sua volta l'entità degli investimenti occorrenti per la realizzazione degli impianti nucleari dipende dal contesto. I costi tendono a crescere se i tempi necessari per la realizzazione degli impianti si allungano, ad esempio a causa di incertezze normative, procedurali e imprevisti. È essenziale il consenso delle popolazioni interessate.

Occorre risolvere il problema dello smantellamento (decommissioning) degli impianti nucleari chiusi con il referendum del 1987 e della sistemazione dei rifiuti radioattivi prodotti nelle attività nucleari che l'Italia ha svolto nel passato. La sistemazione dei rifiuti radioattivi deve essere parte e non condizione necessaria del nuovo programma nucleare italiano. Dovranno essere intensificate e meglio organizzate le azioni avviate per la definizione di depositi provvisori e la gestione sicura di rifiuti e materiali nucleari irraggiati, definendo tempi, tecnologie e strumenti.

Alcuni obiettano che la costruzione degli impianti nucleari in Italia crea altre dipendenze tecnologiche. È vero che l'Italia non possiede le tecnologie necessarie.

Dovranno essere definite le collaborazioni e le alleanze imprenditoriali opportune.

Siamo in un'economia aperta e globalizzata: le imprese italiane imparano sul mercato nazionale ed entrano su altri mercati, questo percorso potrebbe applicarsi anche al caso nucleare. La ricerca dell'autarchia tecnologica ci porterebbe al disastro.



Il nucleare nel mondo: analisi di tempi e costi

Alessandro Clerici*

Bisogna eliminare ogni compromesso: se si vogliono realizzare delle centrali nucleari ora, esse sono e possono essere solo quelle della 3° generazione. Parlare di 4° generazione (vari progetti allo studio con prototipi sperimentali disponibili forse tra oltre un decennio e con realizzazioni per funzionamento commerciale verso il 2040) è solo una scusa per rimandare decisioni e realizzazioni come quelle che stanno concretizzandosi in vari paesi industrializzati (Stati Uniti, Francia, Finlandia, Russia, Giappone, ecc.) od emergenti od in transizione (Cina, Bulgaria, Romania ecc.).

1. La nascita e lo sviluppo negli anni

La prima centrale nucleare mondiale (Obninsk) entrata in servizio in Russia, ha iniziato a fornire energia alla rete nel giugno del 1954; sono quindi trascorsi più di 50 anni dalla produzione pacifica di elettricità da fonte nucleare dal prototipo di reattore LWGR (“Water-cooled graphite moderated”) da 5 MW, che è ora un museo ed un monumento alla scienza e tecnologia dopo essere stato “spento” nel 2002. Obninsk è stato seguito nel 1956 dal reattore da 60 MW di Calder Hall in Inghilterra e nel 1957 dalla prima vera centrale commerciale da 60 MW a Shippingport negli Stati Uniti.

Per quanto riguarda lo *sviluppo nel tempo delle centrali nucleari nel mondo*, si possono notare 3 grandi periodi ed una classica curva ad S (vedi Figura 1) per la disponibilità di “potenza” nucleare:

*Presidente del Gruppo di Lavoro sul nucleare del WEC (World Energy Council).

- a) *dal 1954 al 1975*: si è passati da 0 GW a 75 GW (media di circa 3.500 MW all'anno di nuova potenza entrata in servizio);
- b) *dal 1976 al 1988*, periodo di grande espansione del nucleare, si è passati da 75 GW a 300 GW (circa 17.000 MW all'anno di nuova disponibilità di potenza nucleare);
- c) *dal 1989 al 2007*: si è passati da 300 GW a 372 GW (+24% con circa 4.000 MW all'anno di nuova potenza disponibile sia con nuovi impianti sia con “*up-grading*” di impianti esistenti).

È interessante notare dalla Figura 1 come l'energia prodotta dalle centrali nucleari negli stessi periodi si sia sviluppata come segue:

- *1950-1975*: da 0 a 400 TWh;
- *1976-1988*: da 400 a 1.800 TWh;
- *1989-2007*: da 1800 a 2.610 TWh (+45%).

Nel terzo periodo, pur in presenza di una sostanziale saturazione della potenza disponibile, si è avuto un continuo notevole incremento dell'energia prodotta; questo è fondamentalmente dovuto ad una progressiva diminuzione dell'indisponibilità non programmata e programmata; l'“EAF” (*“Energy Availability Factor”*) pari al quoziente tra l'energia effettivamente prodotta in un anno e quella teoricamente producibile con il 100% di disponibilità alla massima potenza, è passato a livello mondiale dal 72% all'83% dal 1990 al 2005.

Nello stesso periodo in Nord America si è passati per l'EAF dal 70% ad oltre il 90% e nell'Europa Occidentale dal 73% all'83%.

Questo dimostra come le centrali nucleari appartengano ad una tecnologia matura e affidabile, tecnologia e sistemi di O&M (*Operation and Maintenance*) pur sempre perfezionabili.

Sempre relativamente allo sviluppo della potenza nucleare “disponibile”, la Figura 2 riporta [5] l'andamento nelle varie aree geografiche; è chiaro dagli anni '90 l'andamento “piatto” in Nord America ed Europa con i principali incrementi fondamentalmente in Estremo Oriente.

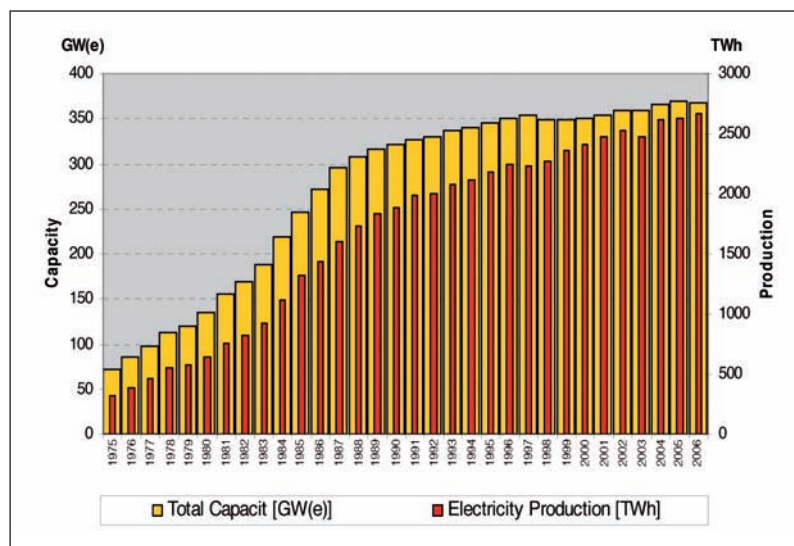


Figura 1: Andamento della capacità installata e della produzione di energia elettrica (da Mandula IAEA – Maggio 2007)

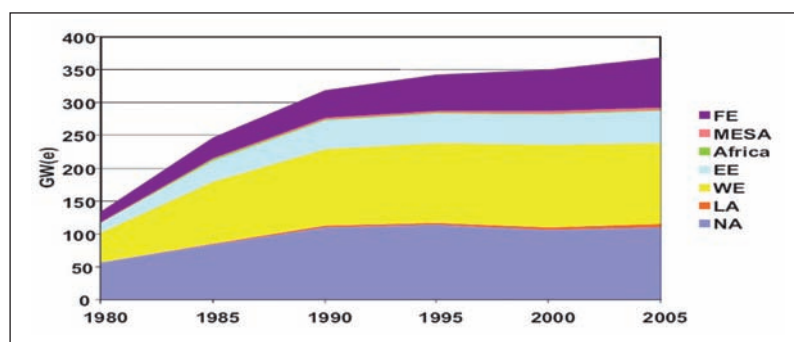


Figura 2: "Andamento della potenza nucleare disponibile nelle varie Regioni" [5].

2. La situazione al 7/07/2008

La tabella 1 riporta i reattori nucleari in esercizio ed in costruzione nel mondo a Luglio 2008 e per ognuna delle 31 nazioni che hanno centrali nucleari in funzione viene riportata la totale produzione nucleare in TWh nel 2007 e la sua quota rispetto alla totale generazione elettrica.

I primi 10 paesi per entità del nucleare installato producono oltre l'85% della totale energia nucleare generata annualmente (circa 2.600 TWh pari al 15% della energia elettrica globale prodotta a livello mondiale da tutte le fonti primarie).

Gli Stati Uniti sono la nazione con il massimo numero di reattori (104) e la massima potenza installata (100,6 GW) seguiti dalla Francia (59 reattori per totali 63 GW) la quale ha il 78% di energia elettrica dal nucleare.

I due paesi, Stati Uniti e Francia, producono oltre il 47% dell'energia nucleare mondiale.

Rispetto a Marzo 2007 [2] i reattori in esercizio in 31 paesi sono aumentati a 439 da 435 (+2 in Romania, + 1 in Cina, India e Stati Uniti) e la potenza delle centrali nucleari in esercizio ha superato di poco i 372.200 MW con un incremento di circa 3.300 MW. La produzione totale di energia nucleare nel 2007, pari a circa 2608 TWh, è stata di circa 50 TWh inferiore alla produzione del 2006; significativa la diminuzione in Giappone (-25TWh) per la chiusura temporanea della più grande centrale del mondo (Kashiwazaki, con 7 gruppi per totali 8.000 MW) a seguito del terremoto e in Germania (-25 TWh). È da notare un incremento di circa 20 TWh negli Stati Uniti (+2,5%) per un ulteriore incremento dell'Energy Availability Factor - EAF", di circa 8 TWh sia in Cina (+14%) e sia in Romania (+150%) per l'entrata in servizio delle unità 2 e 3 di Cernavoda.

La tabella 2 riporta le centrali nucleari in funzionamento e quelle in costruzione suddivise nei vari continenti.

Occorre notare che l'Europa è il continente con il massimo numero di reattori in funzionamento (197 pari al 45% del totale) e la massima potenza installata (170 GW pari al 46% del totale).

Nell'Europa dei 25, il nucleare contribuisce per il 31% alla totale produzione di energia elettrica, mentre a livello continentale tale valore scende al 27,5%.

I reattori attualmente in fase di costruzione sono fondamentalmente in Asia (20 per ~ 15,7 GW) e in Europa (13 per 11,7 GW) e sono passati a livello mondiale dai 35 del marzo del 2007 ai 39 di inizio luglio 2008 per una potenza complessiva di circa 29.000 MW (aumento di circa 5.000 MW). La Russia è la nazione con il massimo numero di reattori in costruzione (7) seguita da Cina ed India (6 ciascuna) e dalla Corea del Sud (3).

Per quanto riguarda la *tipologia dei reattori* in funzionamento nel mondo:

- ~ 245 GW (~66%) sono PWR (*Pressurised Water Reactors*);
- ~ 85 GW (~22%) sono BWR o ABWR (*Boiling Water o Advanced Boiling Water Reactors*);
- ~ 21 GW (~6%) sono PHWR (reattore Candu ad acqua pesante).

Tutte le altre tipologie hanno una quota del 6%.

In Europa [1] i reattori PWR sono in grande maggioranza e hanno una quota del 77% contro il 10% di reattori BWR ed il 7% di reattori LWGR (*Light Water Cooled Graphite Moderated Reactors*) presenti in Russia e Lituania; reattori raffreddati a gas (AGR e GCR) hanno una quota del 6%, concentrata in Inghilterra.

La Romania ha il solo reattore Candu funzionante in Europa.

Reattori nucleari in servizio o in costruzione nel mondo al 7 Luglio 2008								
Nazione	Impianti in esercizio		Impianti in costruzione (2)		Energia elettrica da nucleare nel 2007		Reattori fermi da lungo tempo	
	numero unità	Totale MW(e)	numero unità	Totale MW(e)	TWh (e)	% totale	numero	MW(e)
Stati Uniti (1)	104	100.582	1	1.165	806,55	19,39		
Francia	59	63.260	1	1.600	420,13	76,85		
Giappone	55	47.587	1	866	267,34	27,54	1	246
Russia	31	21.743	7	4.724	147,99	15,97		
Germania	17	20.470			133,21	27,28		
Corea del Sud	20	17.451	3	2.880	136,60	35,34		
Ucraina	15	13.107	2	1.900	87,22	48,09		
Canada	18	12.589			86,19	14,70	4	2.568
Gran Bretagna	19	10.222			57,52	15,12		
Svezia	10	9.014			64,31	46,12		
Cina	11	8.572	6	5.220	59,3	1,92		
Spagna	8	7.450			52,71	17,44		
Belgio	7	5.824			45,85	54,05		
Taiwan	6	4.921	2	2.600	38,96	19,30		
India	17	3.782	6	2.910	15,76	2,52		
Repubblica Ceca	6	3.619			24,64	30,25		
Svizzera	5	3.220			26,49	40,03		
Finlandia	4	2.696	1	1.600	22,51	28,94		
Slovacchia	5	2.034			14,16	54,30		
Bulgaria	2	1.906	2	1.906	13,69	32,10		
Sud Africa	2	1.800			12,60	5,45		
Brasile	2	1.795			11,65	2,84		
Ungheria	4	1.829			13,86	36,81		
Messico	2	1.360			9,95	4,56		
Romania	2	1.300			7,08	13,02		
Lituania	1	1.185			9,07	64,36		
Argentina	2	935	1	692	6,72	6,20		
Slovenia	1	666			5,43	41,57		
Olanda	1	482			3,99	4,10		
Pakistan	2	425	1	300	2,31	2,34		
Armenia	1	376			2,35	43,48		
Iran	-	-	1	915	-	-		
TOTALE	439	372.202	35	29.278	2.608,14		5	2.814

Fonte: "International Atomic Energy Agency" - Luglio 2008

(1) Ripresa costruzione dopo 20 anni di un reattore
 (2) Secondo le classifiche IAEA sono considerati in costruzione quei reattori per i quali sono già iniziate le opere civili.

Tabella 1

Reattori in servizio o in costruzione per continente a luglio 2008				
	In esercizio		In costruzione	
	N.	GW	N.	GW
Europa	197	170.027	13	11.730
Nord America	124	114.531	1	1.165
Asia	112	83.114	20	15.691
Sud America	4	2.730	1	692
Africa	2	1.800		0
TOTALE	439	372.202	35	29.278

Tabella 2

3. I tempi di realizzazione delle centrali esistenti

Per quanto riguarda i tempi di realizzazione delle centrali, la *Tabella 3* fornisce una elaborazione dei dati IAEA relativi al tempo medio di costruzione (in mesi) dal primo getto di calcestruzzo all'entrata in servizio commerciale degli impianti.

Tempo medio di costruzione delle centrali nucleari nel mondo		
Periodo di riferimento	Numero di reattori	Tempo medio di costruzione (mesi)
1965 – 70	48	60
1971 – 76	112	66
1977 – 82	109	80
1983 – 88	151	98
1989 – 94	46	99
1995 – 00	28	116
2003*	2	55
2004**	3	163
* Riferito a solo 2 reattori in Cina e Giappone		
** Un reattore in Russia ed uno in Ucraina – sviluppo bloccato per motivi politici in seguito all'incidente di Cernobyl del 1986		

Tabella 3

Sebbene il tempo medio di costruzione non dia una chiara visione della situazione, è evidente come i tempi di costruzione abbiano “sofferto”, specie nel mondo occidentale ed in particolare negli Stati Uniti, di un progressivo aumento causato da cambiamenti nelle legislazioni di sicurezza e da opposizioni locali. Altro fattore è stato il basso prezzo del petrolio.

Negli Stati Uniti, per l'ultimo reattore entrato in servizio commerciale nel 1993 (Comanche Peak) il tempo di costruzione è stato di 19 anni, per la Francia (Civaux 2 – 2002) di 11 anni, per la Germania (Neckarwstein 2 – 1989) di 7 anni, per l'Inghilterra (Sizzebell - 1995) di 7 anni, per la Svezia (Forsmark 3 – 1985) di 6,5 anni e per la Spagna (Trillo 1 – 1988) di 9,5 anni.

Occorre notare che in Inghilterra i due reattori della centrale di Hartlepool (1989) hanno avuto un tempo di costruzione di 22,5 anni e quelli di Heysham 1 di 19 anni.

In Svizzera (Leibstadt – 1984) è entrato in servizio dopo 10,5 anni contro i 4 – 6 degli altri reattori e con un tempo record di 3 anni e 11 mesi per il secondo gruppo di Beznau.

L'Olanda per il suo reattore di Borsele (1973) ha avuto un tempo di costruzione di 4 anni e 3 mesi ed il Giappone (Tomari 1 – 1989) ha il record mondiale con 3 anni e 11 mesi per la prima unità installata in un sito.

4. Le centrali esistenti, l'estensione della loro vita e l'aumento della loro potenza

Le centrali nucleari esistenti sono state per la massima parte autorizzate originariamente per un funzionamento fino a 40 anni. Sulla base delle periodiche verifiche di sicurezza è stato appurato che per la maggior parte di esse si potrebbe estendere la loro vita utile fino a 50/60 anni.

A livello mondiale, il 75% dei reattori ha più di 20 anni di vita; la situazione è tuttavia molto differente nelle varie aree geografiche e appare evidente come le regioni che sarebbero maggiormente colpite da un'uscita di servizio a 40 anni (o anticipata) delle loro centrali nucleari sarebbero il Nord - America e l'Europa Occidentale.

Per l'Europa in generale (Occidentale + Est) il 30% dei reattori ha una vita compresa tra 25 e 35 anni, il 60% tra 15 e 25 ed il 10% meno di 15 anni [1].

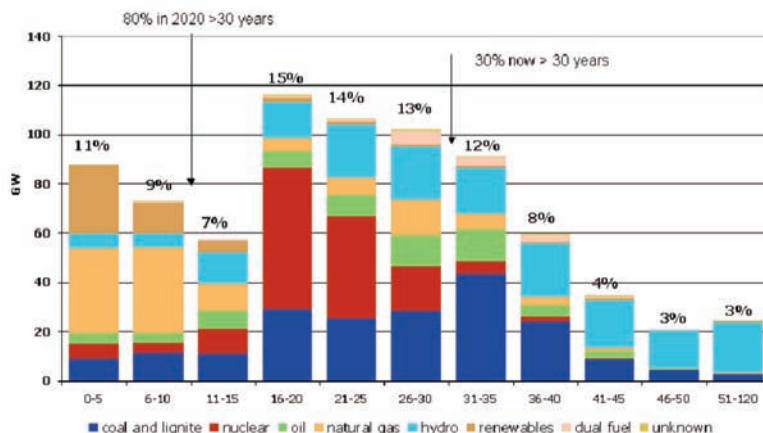


Figura 3: Il fattore età delle centrali europee: un grave problema con il rimpiazzo di varie centinaia di GW

La figura 3 [1] dà una chiara visione per l'Europa, dell'età di tutte le tipologie di centrali elettriche al 2005. Senza un'estensione della vita delle centrali nucleari, l'Europa perderebbe nel 2025 l'80% del contributo nucleare, pari a circa il 25% dell'attuale produzione di energia elettrica. L'Europa da qui al 2030 dovrà rimpiazzare oltre 600.000 MW di centrali che diventeranno man mano obsolete e ciò risulterà un serio problema per la competitività e la sostenibilità ambientale del sistema elettrico europeo; essendo in gran parte centrali di base (nucleari ed a carbone) è impensabile possano essere nella sostanza sostituite da eolico e solare.

Occorre notare che in Europa e in Nord - America, risultando praticamente ammortate la quasi totalità delle centrali, il loro costo di produzione si riduce ai costi di:

- O&M (*Operation and Maintenance*),
- combustibile,

- assicurazioni,
- “*decommissioning*” e *management* delle scorie.

Sebbene tali costi, con l’apertura dei mercati elettrici, siano divenuti “sensibili commercialmente” e quindi non più divulgati e sebbene siano notevolmente influenzati da effetti scala e serie e dalla tipologia dei reattori, trascurando eventuali interventi di “*large refurbishment and/or up-grading*”, essi sono orientativamente:

- *O&M* + assicurazioni: 4-7 €/MWh;
- *combustibile*: 3,7-9 €/MWh (con uranio da 80 a 300 \$/t);
- *decommissioning* e *management* scorie: 2-4 €/MWh.

Il costo totale risulta inferiore ai 20 €/MWh nella peggiore delle ipotesi ed è quindi altamente competitivo; un’estensione della vita delle centrali nucleari, previi adeguati controlli, sarebbe un fattore di stabilità per i prezzi dell’energia elettrica, per la sicurezza degli approvvigionamenti e porterebbe sostanziali contributi (difficilmente sostituibili) alla riduzione delle emissioni.

Negli *Stati Uniti* ad inizio 2007 risultavano concesse ben 48 licenze di estensione della vita per altri 20 anni (per una totale licenza di 60 anni dalla loro messa in servizio); ci sono 35 intenzioni di ulteriori richieste di estensione. Questo corrisponderebbe ad avere oltre l’80% dei reattori degli Stati Uniti operanti per altri 20 anni rispetto alle iniziali licenze.

Per quanto riguarda l’*Europa*: in Francia 20 reattori da 1.300 MW hanno recentemente avuto un’estensione preliminare della licenza per altri 10 anni e in Olanda l’unico reattore in funzione è stato autorizzato all’esercizio per ulteriori 20 anni rispetto ai 40 originali. In Finlandia è stata decisa il 26 luglio 2007 l’estensione della vita fino al 2027 ed al 2030 dei due gruppi PWR (VVER – 440 russi) della centrale di Loviisa, entrati in servizio rispettivamente nel

1977 e 1981. È in programma o in fase di considerazione l'estensione della vita, tra gli altri, in Bulgaria, Repubblica Ceca, Romania, Slovenia, Svezia e Svizzera. Il nuovo governo belga deve definire l'estensione della vita delle centrali.

È interessante notare che per le centrali esistenti sono stati effettuati o sono in corso o programmati interventi di aumento della loro potenza disponibile (*up-rating*) che variano da alcuni punti percentuali a circa il 20% mediante significative modifiche anche alle turbine ad alta pressione.

In Svezia il programma prevede un incremento dal 2005 al 2011 di 1.300 MW rispetto al valore di 9.500 MW al 31/12/2004; tale ultimo valore era già di oltre 600 MW superiore agli 8.900 MW netti definiti alla messa in servizio delle centrali. L'incremento percentuale maggiore è stato in Finlandia (+20% da messa in servizio al 31/12/2004). Nell'Europa dei 25 i programmi di up-rating in 16 paesi hanno fornito o forniranno alcune migliaia di MW nucleari aggiuntivi.

A fine 2007 negli Stati Uniti erano stati approvati upgrading di 110 reattori per totali 5.000 MW; altri 2500 MW sono in fase di definizione da parte della NRC (Nuclear Regulatory Commission).

5. Nuove centrali nucleari, loro costi e prospettive future

A livello mondiale i combustibili fossili contribuiscono ancora per circa i 2/3 alla produzione di energia elettrica e tale quota non è prevista diminuire (anzi è prevista in aumento) nel breve e medio termine.

Considerando in particolare l'Europa, come evidenziato dal recente studio del WEC (*World Energy Council*) "Il futuro ruolo del nucleare in Europa" [1], tenendo in conto la sostituzione di vecchie centrali specie a carbone e nucleari, i costi crescenti e la sicurezza di

approvvigionamento dei combustibili fossili e considerando gli impegni ambientali, l'opzione nucleare che non emette CO_2 , SO_x , NO_x e polveri non può essere trascurata.

È chiaro, quindi, come l'energia nucleare stia diventando nuovamente oggetto non solo di analisi e discussioni, ma di decisioni politiche in vari paesi sempre più numerosi.

Occorre notare che il possibile ricorso all'energia nucleare e il suo tasso di penetrazione dipenderà da quattro principali fattori:

1. l'accettazione da parte del pubblico;
2. la risposta ai problemi ambientali;
3. la sua economicità rispetto ad altre alternative, internalizzando nei costi di ogni alternativa sia gli impatti ambientali sia i costi indiretti sul globale sistema elettrico di generazione e trasmissione, sia i costi di mancata sicurezza di approvvigionamento;
4. l'impatto della non proliferazione e della sicurezza endogena ed esogena delle centrali e del ciclo del combustibile.

È sulla base di tali considerazioni che nel 2005 il WEC Europa con il suo Presidente Mr. Pierre Gadonneix ha deciso di lanciare uno studio per definire il "futuro ruolo del nucleare in Europa"; è stato costituito un gruppo di lavoro con 25 membri da differenti nazioni europee e la prima riunione si è svolta a Bucarest nel Maggio 2005. Un rapporto del gruppo di lavoro [1] è stato presentato a Londra nel Gennaio 2007 ed un aggiornamento è stato presentato a Roma in occasione della 20° Conferenza Mondiale dell'Energia a Novembre 2007.

La tecnologia che sta imponendosi sul mercato delle centrali nucleari è quella dei nuovi reattori (3° generazione) di "larga taglia" (potenza elettrica per reattore superiore ai 1.000 MW elettrici).

Tale tecnologia permette di ottenere riduzioni del costo dell'investimento al kW e dei costi di O&M per kWh prodotto (effetto scala).

I principali reattori disponibili sul mercato sono:

- reattori “boiling water” (ABWR di GE, Hitachi ed ora anche Toshiba da ~ 1.400 MW; SWR di Areva da 1.000 MW e EBSR 1200 MW GE); una recente collaborazione EON, Areva, Siemens ha in sviluppo un aumento di potenza a 1250 MW del reattore SWR di Areva.
- reattori “pressurised water” (EPR di Areva da 1.600 MW, AP 1000 da ~1.150 MW di Westinghouse e V V ER da 1.000 o da 1.200 MW di AEP Russia);
- il reattore Candu da circa 700 MW è in fase di up-grading a 1000 MW.

Tali reattori hanno una vita progettata per 60 anni, una disponibilità superiore al 90%, rifornimento del combustibile e management del “core” ogni 15-24 mesi; a tali caratteristiche si aggiunge una bassissima probabilità di danni al “core” che in ogni caso darebbero minime conseguenze esterne.

I tempi di costruzione (dal getto iniziale di calcestruzzo alla connessione alla rete) sono da 3,5 a 5 anni [1].

Dall’inizio 2008 Mitsubishi ha proposto negli Stati Uniti il reattore US – APWR da 1700 MW (evoluzione della tecnologia Westinghouse) ed i Sud Coreani stanno proponendo il reattore AP 1400.

Per quanto riguarda il costo di nuove centrali nucleari (il cosiddetto “overnight cost” = OVN, corrispondente alla somma dei valori dei possibili vari contratti per la realizzazione della centrale) dipende:

- dai costi locali;
- dal numero di unità per ogni sito;
- dal numero totale di centrali ordinate.

In base alle varie analisi del gruppo di lavoro del WEC [1] a fine 2005 il valore di OVN poteva variare da circa 1.300 €/kW a 1.800 €/kW. Il valore di 2.000 €/kW si applicava per ordine di 1 unità (vedi Olkiluoto 3 in Finlandia e Flamanville 3 in Francia, reattori FOAK = first of a kind), mentre il valore di 1.300 quando sono sfruttati al massimo l'effetto "numero unità per sito" ed il numero di centrali. Uno studio dell'EdF relativo al programma di 10 EPR indicava in 1.350 €/kW il valore di OVN. Con 6 reattori, 2 per sito in 3 centrali, secondo [1] si ha già un sostanziale effetto serie.

A causa dell'escalation dei prezzi delle materie prime (acciaio, cemento, rame, ecc.) e per la forte domanda, i prezzi attualmente offerti e noti sono circa il 40% superiori ai 2000 €/kW relativi sia al progetto Francese (Flamanville) e Finlandese (Olkiluoto 3), entrambi con 1 reattore per sito.

Le analisi in corso in Finlandia da parte di 3 gruppi di investitori che stanno proponendo la 6° centrale nucleare, ed in parte confermate da indiscrezioni sugli ultimi ordini negli Stati Uniti, portano a valori attorno a ~ 2.800 €/kW per singola centrale con 1 reattore ed a valori inferiori per centrali con 2 gruppi.

Essendo le centrali nucleari "capital intensive", chiaramente la quota del costo del kWh prodotto relativa all'investimento risulta la preponderante.

Tale quota è influenzata fortemente dall'entità e dal costo del denaro ottenuto in prestito e dal valore dell'Internal Rate of Return (IRR) che l'investitore vuole avere; costo del denaro ed IRR sono influenzati fondamentalmente da rischi di mercato, rischi di cambio legislazione, rischi tecnologici.

In Finlandia, per la realizzazione della centrale di Olkiluoto 3 e per la nuova in fase di proposta, si considera un approccio con vari azionisti di una società senza scopo di lucro e senza tasse ritirano l'energia al costo e non richiedono dividendi, accontentandosi di avere energia sicuramente a buon mercato sia per i propri usi sia cedi-

bile ad una borsa che avrà certamente un prezzo più elevato (si veda per maggiori dettagli l'articolo di Ricotti, ndr).

Con tale schema e con i rischi sopra citati praticamente nulli, i finlandesi sono riusciti ad ottenere dalle banche prestiti fino a 40 anni ad un tasso intorno al 5% e per una quota fino all'80% del valore totale della centrale. Ciò porta a ~22 €/MWh il costo attribuibile all'investimento anche con un costo di impianto di 2800 €/kW.

Le conclusioni riportate in [1] per l'Europa sui costi del kWh per le future centrali rimangono praticamente invariate per quanto riguarda:

- O&M (~6 - 9 €/MWh)
- Combustibile prima della produzione di elettricità (4,5 – 5,5 €/MWh)
- “Fuel cycle” (waste management temporaneo + riprocessamento + deposito finale): 1-4 €/MWh;
- Decommissioning (con costi differiti di almeno 60 anni, non contribuisce sostanzialmente al costo totale del kWh anche se il costo effettivo di decommissioning ha valori alti tra 250 ed oltre 1.000 \$/kW in funzione del tipo e dimensione della centrale): costo previsto è 0,5-1 €/MWh.

In conclusione, il totale costo di produzione, aggiornando quanto in [1], potrebbe essere:

- *per ordine di un solo reattore,*
 - 35-40 €/MWh e nel solo caso dell'approccio Finlandese
 - 55-65 €/MWh per IRR più elevata
- *per ordini di più centrali con più unità per sito* il valore si potrebbe aggirare tra 45 e 55 €/MWh.

Chiaramente il vero costo del kWh da una nuova centrale, data la volatilità dei prezzi internazionali, sarà quello che si potrà stabilire al suo commissioning sulla base sia di quanto definito con

la rivalutazione prezzi dal contratto di aggiudicazione e sia dai reali costi dell'uranio e degli accantonamenti per decommissioning e "final waste disposal" imposti dalle autorità locali. Occorre notare la difficoltà di poter ottenere contratti a prezzo fisso con l'alta volatilità dei prezzi sia di materie prime sia di ingegneria/costruzione.

Considerando che anche per le centrali a carbone ed a ciclo combinato a gas è in atto una sostanziale rivalutazione dei prezzi (e dei tempi di consegna) e considerando i sopraccitati e più corposi incrementi dei combustibili e l'evoluzione della "penalizzazione" delle emissioni di CO₂, la competitività del nucleare, pur con i suoi notevoli costi di investimento, è aumentata.

Per quanto riguarda gli sviluppi a breve-medio termine occorre notare tra gli altri:

- Negli **Stati Uniti** gli incentivi per il nucleare (18 \$/MWh per i primi 6.000 MW di nuove centrali e per i primi 8 anni di esercizio, oltre ad altre facilitazioni per assicurazione rischi, deduzione tasse e finanziamenti) approvati dal governo Bush con l'Energy Act del 2005, hanno portato fino ad ora a dichiarazioni di interesse e richieste di autorizzazioni per 32 reattori per totali 40.000 MW. Considerando le procedure relative al permesso iniziale del sito (ESP), alla certificazione del reattore (DC) ed alla licenza per costruire ed operare (COL, nuovo procedimento per snellire le procedure), si prevedono i primi nuovi reattori in servizio non prima del 2016. In Georgia e South Carolina sono stati recentemente passati ordini per totali 4 reattori AP 1000 (2 per sito); è in definizione un altro ordine per 2 gruppi in Florida.
- In **Canada** tra Ontario ed Alberta ci sono dei progetti di breve-medio termine dell'ordine di 6000 MW di centrali nucleari e tra l'altro si sta studiando l'applicazione di gruppi nucleari (no CO₂) per uso termico al fine di estrarre petrolio dalle "tar sands" del-

le quali il Canada possiede la massima parte delle riserve mondiali.

- In **India** la crescita di potenza prevista delle centrali nucleari è di passare dagli attuali 3.500 MW ai 7.000 MW per il 2010 ed a 21.000 MW per il 2020.
- In **Cina** è previsto di avere in servizio circa 40.000 MW di nuove centrali nucleari prima del 2020 e ~120.000 MW entro il 2030 (attualmente hanno 9.000 MW). Anche se il programma è imponente, occorre notare che il nucleare fornirà solo il 5% dell'elettricità che per oltre il 75% sarà prodotta da centrali a carbone. La Cina nel 2006 ha messo in servizio circa 105.000 MW di nuove centrali e 97.000 MW nel 2007 (80% di centrali a carbone); in aggiunta ad un ordine a Westinghouse di 4 reattori della 3° generazione, recentemente sono stati definiti ordini ad altri fornitori.
- In **Giappone** il governo ha espressamente confermato che anche dopo il 2030 manterrà una quota del 30-40% di energia elettrica prodotta dal nucleare ed ha già pianificato 12 reattori per circa 16.000 MW.
- La **Corea del Sud** prosegue il suo programma di ulteriori 6.600 MW di nuove centrali nucleari già pianificate in aggiunta alle 3 in costruzione.
- In **Sud Africa**, la direzione di Eskom ha autorizzato la costruzione di 20.000 MW di nuove centrali nucleari, che si prevedono operative entro il 2027. I primi 4.000 MW dovrebbero essere in servizio in pochi anni. Areva e Westinghouse hanno recentemente presentato interessanti proposte per un mercato locale "affamato" di nuove centrali (mancano circa 4.000 MW di potenza disponibile nelle ore di picco).
- Per quanto riguarda l'**Europa**, occorre notare che la **Russia** prevede di installare circa 20 - 30.000 MW di nuove centrali entro i prossimi 15 anni e varie sono già state ordinate od in costru-

zione. La **Lituania**, in collaborazione con **Estonia**, **Latvia** e **Polonia**, ha previsto di realizzare 2 centrali nucleari di ~1.600 MW ciascuna sul proprio territorio; così come la **Romania** sta definendo Cernovada 3 e 4 con 2 gruppi da 700 MW ciascuno; in **Bulgaria** è in fase finale la gara tra investitori per Belene (con 2 gruppi da 1.000 MW già ordinati ai russi). La **Repubblica Ceca** è in favore di nuove centrali nucleari; la **Slovacchia** prevede con ENEL il completamento di 2 x 440MW entro il 2013. La **Finlandia**, a seguito di Olkiluoto 3, sta seriamente portando avanti l'analisi di 1 nuova centrale che dovrebbe entrare in servizio nel 2018-2020; 3 gruppi privati (TVO, Fennovoima, Fortum) sono in concorrenza per ottenere dal Governo e Parlamento la DIP (decision in principle), primo passo autorizzativo dopo la VIA. In **Svizzera** è allo studio la realizzazione a livello consortile di una sesta unità nucleare e ATEL ha recentemente annunciato di avere in fase avanzata la proposta per un nuovo reattore con torri di raffreddamento. Per quanto riguarda la **Francia** occorre notare che lo scenario per il rinnovo delle centrali esistenti prevede sia nuovi reattori della 3° generazione (EPR entranti in servizio, dopo l'esperienza di Flamanville 3, dal 2020 al 2040) sia reattori della 4° generazione in servizio dal 2040. In **Inghilterra**, il governo di Gordon Brown ha fortemente riaffermato la necessità di partire con un nuovo programma di centrali nucleari. Alcuni fornitori di centrali nucleari hanno già presentato richiesta di certificazione per i loro reattori alle autorità competenti. British Energy (la società statale che possiede le centrali nucleari) è in vendita ed EDF ha appena presentato un'offerta al rialzo rispetto alle precedenti per circa 13 miliardi di €, offerta ritenuta inadeguata.

È interessante notare sia l'azione pressante e coordinata di informazioni verso l'opinione pubblica, in accordo con le loro procedure, sia la definizione di chiare regole per messa a disposizione

dei siti e addebiti per il trattamento delle scorie in modo da dare agli investitori privati certezze per i loro investimenti.

Belgio, Spagna, Svezia e Germania, per leggi in vigore, non prevedono nuove centrali ed è fortemente in discussione l'uscita delle centrali in esercizio con esplicita eccezione in Svezia. In **Serbia** la legge proibisce la costruzione di centrali nucleari.

L'opzione nucleare è sotto seria considerazione anche in circa 30 paesi che attualmente non possiedono reattori nucleari; si possono menzionare tra gli altri Irlanda, Norvegia, Portogallo, Bielorussia, Turchia (in definizione procedura per richiesta di 2 centrali), Stati del Golfo, Israele, Siria, Giordania, Egitto (emessa procedura di gara per la prima centrale), Libia, Algeria, Marocco, Nigeria, Namibia, Azerbaijan, Kazakistan, Cile, Venezuela, Indonesia, Thailandia, Malesia, Australia e Nuova Zelanda. Molti di questi paesi stanno studiando la possibilità di costruire reattori al di sotto di 1000 MW e/o centrali nucleari abbinata a processi di dissalazione per l'acqua marina.

La IAEA a livello globale prevede per il 2020 in servizio 418 GW (contro gli attuali 370) in uno scenario "pessimista" e 510 GW in uno scenario "ottimista"; per il 2030 la forchetta va dai 420 GW ai 630 GW di centrali nucleari in servizio.

La Elecnuc 2005 e successive analisi dell'EdF prevedono al 2020 circa 160 GW di nuovi reattori in servizio dei quali il 59% in Asia, il 29% in Europa (massima parte in CIS ed Est Europa), il 7% negli Stati Uniti ed il 5% in altre aree geografiche.

In ogni caso, tenendo in conto il notevole incremento di centrali a carbone (Cina, India) ed a ciclo combinato (liberi mercati), la quota di energia prodotta dal nucleare decrescerà fino al 2020, dati anche i tempi necessari al "concepimento" di una centrale, alle effettive autorizzazioni ed alla costruzione (e la costruzione risulta la componente "più corta" con tempi come sopra accennato di 3,5 - 5 anni secondo il gruppo di studio del WEC [1]).

Reattori pianificati ed addizionali in considerazione nel mondo a Maggio 2008				
Nazione	Impianti pianificati (1)		Impianti addizionali in considerazione (2)	
	numero unità	Totale MW(e)	numero unità	Totale MW(e)
Argentina	1	740	1	740
Armenia	0	0	1	1.000
Bangladesh	0	0	2	2.000
Bielorussia	2	2.000	0	0
Brasile	1	1.245	4	4.000
Canada	3	3.300	4	4.400
Cina	25	27.800	76	62.600
Corea del Nord	1	950	0	0
Corea del Sud	5	6.600	0	0
Egitto	0	0	1	1.000
Finlandia	0	0	1	1.200
Francia (3)	0	0	1	1.600
Giappone	12	16.364	1	1.100
India	10	8.560	9	4.800
Indonesia	2	2.000	2	2.000
Iran	2	1.900	1	300
Israele	0	0	1	1.200
Kazakistan	0	0	1	300
Lituania	0	0	2	3.200
Messico	0	0	2	2.200
Pakistan	2	600	2	2.000
Repubblica Ceca	0	0	2	1.900
Repubblica Slovacca	2	840	0	0
Romania	2	1.310	1	665
Russia	10	11.960	25	22.280
Slovenia	0	0	1	1000
Stati Uniti	12	15.000	20	26.000
Sud Africa (4)	1	165	17	20.000
Svizzera	0	0	3	4.000
Tailandia	0	0	4	4.000
Turchia	0	0	3	4.500
Ucraina	0	0	20	27.000
Ungheria	0	0	2	2.000
Vietnam	0	0	2	2.000
TOTALE MONDO	93	101.334	212	210.985
Fonte: World Nuclear Association - Maggio 2008				

(1) Approvati con fondi già definiti o in definizione; in gran parte previsti in servizio entro 8-10 anni

(2) Chiara intenzione o proposta senza però impegni definitivi

(3) Non considerando il piano di Fig. 6 di sostituzione dei reattori esistenti

(4) Recente decisione del Board di Eskom del Sud Africa (fonte Clerici)

Tabella 4: La Tabella 4, elaborata dai dati di "WNA – World Nuclear Association" Maggio 2008, riassume la situazione per i reattori pianificati o in considerazione.

6. L'uranio, la sua disponibilità e i suoi costi

Il consumo globale mondiale di uranio per le centrali nucleari è oggi pari a circa 70.000 t/anno con una media di circa 26 t di uranio per TWh prodotto.

Occorre notare che circa il 50% dell'uranio utilizzato per le centrali proviene, da vari anni, dallo smantellamento di arsenali militari; questo ha causato un rallentamento degli investimenti nelle miniere e un crollo del prezzo dell'uranio a circa 20 \$/kg nel 2001/2002 dai 100 \$/kg nel 1979, rivalutati a 320 a \$ costanti 2007. A partire dal 2002 (*Figura 4*) [2] si è assistito ad un rapido aumento del prezzo spot dell'uranio che ha raggiunto valori fino a circa 300 \$/kg nei primi mesi del 2007 per ritornare ora a valori prossimi a 150 €/kg. Occorre notare che gli operatori di centrali nucleari si avvalgono di contratti di fornitura a lungo termine, con valori quindi inferiori ai recenti valori del mercato spot.

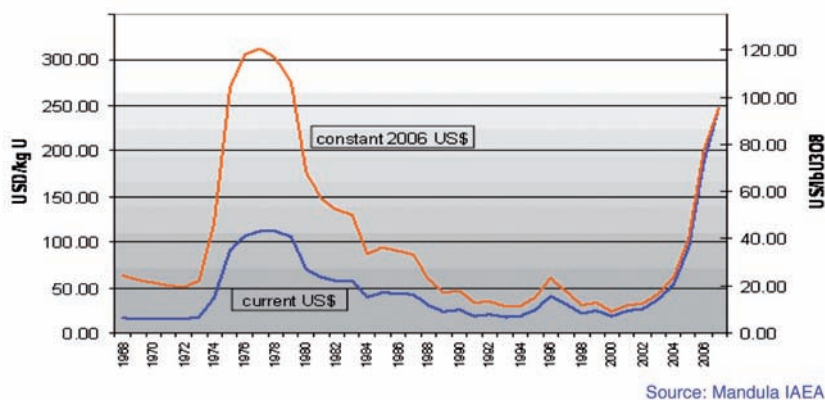


Figura 4: Prezzo spot dell'uranio

Tale incremento nei prezzi ha favorito sia lo sviluppo da parte delle miniere della produzione di uranio che è salita dal 2003 al 2005 [2] da 35.000 t/anno a 42.000 t/anno, sia la ricerca di nuovi giacimenti.

Occorre notare che per una grossa centrale nucleare PWR, il solo costo dell'uranio, con uranio a 20 \$/kg, incide per poco meno di 0,5 €/MWh, pari a circa l'1% del costo del MWh prodotto [1].

Considerando i nuovi investimenti in miniere (Canada, Australia, Kazakistan, ecc) e quelli futuri legati ad un prezzo più remunerativo dell'uranio, il WG del *World Energy Council* [1] ritiene che per nuove centrali che entreranno in servizio nel prossimo decennio, un prezzo ragionevole per l'uranio sia tra i 50 e gli 80 \$/kg.

Anche nell'ipotesi che il prezzo dell'uranio variasse dai 20 \$/kg ai 300 \$/kg, l'incidenza del solo uranio sul MWh prodotto salirebbe da 0,5 a 7,5 €/MWh ma con un costo totale del combustibile che passerebbe da circa 1,8 €/MWh a meno di 9 €/MWh.

Occorre notare che per le centrali a ciclo combinato oggi esistenti in Italia, con il gas ora sopra gli 0,300 €/m³, il costo di produzione si aggira attorno agli 80 €/MWh con oltre 60 €/MWh (80%) attribuibili al combustibile; e questo senza considerare penalizzazioni alle emissioni di CO₂ e senza considerare l'aggiustamento dei prezzi del gas a quelli del petrolio attuali (140 \$/b) che porterà tra qualche mese ad oltre 100 €/MWh il costo di produzione.

La *Tabella 5* indica per alcune centrali nucleari, esercite da una società elettrica spagnola, l'incidenza del combustibile sul costo del kWh prodotto e la sua suddivisione come risulta da contratti a lungo termine stipulati nel 2003 e nel 2007. La *Figura 5* dà il costo totale del kWh prodotto da centrali nucleari in funzione del prezzo dell'uranio con costo dell'investimento vicino ai 2.800 €/kW.

	2003	2007
- Costo kWh dovuto al combustibile (€/MWh)	3,1	9,6
	(100%)	(100%)
U ₃ O ₈	30%	70%
Conversione a UF ₆	3%	1%
Arricchimento (U 235)	40%	21%
Conversione ad UO ₂	2%	1%
Fabbricazione elementi combustibile	25%	7%

Tabella 5: Incidenza del combustibile sul costo del kWh prodotto da alcune centrali spagnole; confronto tra contratti stipulati nel 2003 e nel 2007.

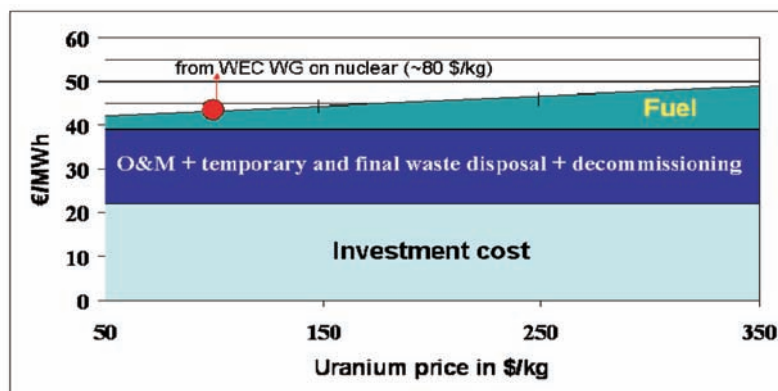


Figura 5: Full cost del kWh prodotto da future centrali nucleari in funzione del prezzo dell'uranio (8100 h/year: multiple units with high portion of loan and low IRR or single unit order with "Finnish approach")

Per quanto riguarda la provenienza dell'*uranio*, nel 2005 [2], l'84% è stato fornito da 6 paesi: Canada 27%, Australia 23%, Kazakistan 10%, Russia 8%, Namibia 8%, Niger 8%.

Relativamente alle *riserve di uranio*, lo studio del WEC del 2004 [3] riportava che le riserve accertate con prezzi di produzione inferiori ad 80 \$/kg erano pari a 2,5 Mt, mentre quelle con prezzi di produzione superiori ai 130 \$/kg superavano gli 8 milioni di tonnellate, dando quindi un rapporto riserve/consumi attuali pari a 150 anni.

L'ultimo rapporto OECD/NEA-IAEA ("*Red Book*") sulle risorse di uranio, edito nel giugno 2006, prevedeva:

- risorse identificate: 4,75 Mt;
- stima di risorse non ancora scoperte: 10 Mt;
- risorse non convenzionali (esempio uranio nei fosfati): 15-25 Mt.

Per le risorse identificate i primi 10 paesi contribuiscono per oltre il 90% e sono: Australia (25%), Kazakistan (18%), Canada (10%), Stati Uniti (7,6%), Sud Africa (7,6%), Namibia (6,2%), Brasile (6,1%), Niger (5%), Russia (3,8%) ed Uzbekistan (2,5%).

Considerando quanto sopra, la disponibilità ancora per i prossimi anni di uranio/plutonio dallo smantellamento di arsenali militari, il riprocessamento del combustibile utilizzato e riciclato come MOX (Mixed Oxide of Uranium and Plutonium, con ulteriore 15% di risparmio) e la prevista entrata in servizio dal 2035-2040 dei reattori di IV generazione (efficienza aumentata di circa 80 volte rispetto agli attuali reattori), anche considerando 60 anni di vita per le centrali esistenti e per quelle che entreranno in servizio nei prossimi 30 anni, il gruppo di lavoro del WEC [1] non ravvisa problematiche relative a possibile scarsità di uranio.

Alcuni produttori di centrali (es. Areva) stanno effettuando notevoli investimenti in miniere di uranio e lo stesso da parte di alcune nazioni (es. Giappone).

7. Opinione pubblica - Scorie

Occorre notare che negli ultimi anni vi è stato un notevole cambiamento dell'opinione pubblica in molti paesi rispetto al problema delle centrali nucleari.

La percezione del rischio da parte del pubblico sembra meno influenzata dal problema di gravi incidenti e sembra più concentrata sul problema delle scorie. L'effetto NIMBY (not in my back yard) è tuttavia notevole per quanto riguarda nuove centrali, ma assai meno per l'estensione della vita di centrali esistenti.

È curioso notare che in sondaggi condotti in alcune nazioni (ad es. Svizzera, Slovacchia e Stati Uniti) la popolazione residente vicino a centrali nucleari è meno ostile di quella che vive lontano dalle centrali stesse. Le donne ed i giovani sono più "ostili" degli uomini; le persone più istruite sono più favorevoli.

Il caso più eclatante di cambiamento di opinione rispetto al nucleare è quello della Svezia che nel 1980 (6 anni prima di Cernobyl!) con decisione parlamentare spinta da sondaggi e pressioni popolari aveva deciso di chiudere tutte le centrali nucleari entro il 2010.

Ebbene, solo 2 vecchie centrali sono state tolte dal servizio nel 1999 e nel 2004 rispetto alle date programmate inizialmente del 1998 e 2001.

Recenti sondaggi [1] hanno fornito i seguenti risultati:

- il 13% della popolazione è ancora favorevole alla chiusura delle centrali esistenti;
- l'83% è in favore di mantenere in servizio le centrali esistenti e/o di sostituirle con nuove centrali o di aumentarne la potenza.

La quasi totalità delle persone in favore del mantenimento del nucleare ha giustificato la propria posizione come "dettata dalla protezione dell'ambiente".

Occorre notare che 2 municipalità sono in competizione per ospitare il deposito finale delle scorie deciso a livello governativo.

Si può rilevare che anche in Italia da recenti sondaggi (ISPO, Espresso) oltre il 50% della popolazione sarebbe favorevole ad avere centrali nucleari sul nostro territorio.

Relativamente al problema delle *scorie*, 1 reattore da 1.000 MW ogni anno produce [1]:

- 100 - 300 m³ di rifiuti a basso ed intermedio livello (L/ILW)
- ~ 20 - 30 t (2,7 - 4 t /TWh) di residui di combustibile utilizzato (SNF, spent nuclear fuel).

Occorre notare che il decommissioning e lo smantellamento di centrali nucleari produce fondamentalmente L/ILW.

In Europa ci sono vari depositi “superficiali” per i residui L/ILW ed anche l'Italia dovrà provvedere al più presto.

Relativamente allo SNF, dopo l'iniziale stoccaggio presso le centrali, esistono 3 approcci:

- ri-processamento (Francia, Inghilterra, Russia, Giappone);
- temporaneo stoccaggio in siti provvisori in attesa degli sviluppi tecnologici e della scelta di un sito definitivo;
- stoccaggio in un sito definitivo (Canada, Finlandia, Svezia e Stati Uniti).

In Finlandia è iniziata nel 2004 la costruzione di un deposito sotterraneo che diventerà operativo nel 2020 con i primi stoccaggi; in Svezia sono iniziate le indagini geologiche in 2 siti. Nel 2002 il governo degli Stati Uniti ha deciso di procedere con il deposito di Yucca Mountain il quale sta subendo ritardi nei processi autorizzativi; per tale motivo gli Stati Uniti sono in fase di “ripensamento” verso un “riprocessamento” al fine di ridurre dra-

sticamente i volumi in modo da non richiedere un nuovo sito anche nel lungo termine.

Per quanto riguarda le dimensioni di possibili depositi, vi è una notevole differenza tra il diretto stoccaggio di HLW (high level waste) da SNF (~ 2 m³ per tonnellata con la tecnologia svedese di involucri di rame) e lo stoccaggio a seguito di riprocessamento (0,5 m³ per tonnellata con il processo francese di vetrificazione e compattamento dei prodotti di fissione).

Per lo stoccaggio con la tecnologia svedese (massimo dei volumi), il totale volume delle scorie da qui a fine secolo prodotte da tutti i reattori europei che hanno funzionato sino ad ora e che funzioneranno in futuro con le ipotesi ottimistiche di sviluppo, è inferiore a quello di un cubo di 100 m x 100 m x 100 m.

I governi, con le relative legislazioni locali, hanno un ruolo fondamentale nella scelta delle soluzioni per il trattamento ed il deposito dei residui radioattivi delle centrali, scelte e depositi che debbono tenere in conto anche i residui che provengono da altre attività (ospedali, centri di ricerca, ecc). In ogni caso la responsabilità del finanziamento dei costi relativi al trattamento e allo stoccaggio finale dei residui è dell'operatore della centrale.

Gli ingenti fondi che risultano dagli accantonamenti annuali per tale attività sono gestiti in modo diverso nelle varie nazioni in funzione dell'entità delle centrali nucleari esistenti e del numero di operatori; si passa da fondi ed attività gestite dai singoli operatori, da speciali agenzie (Svezia, Finlandia) o dallo stato (Stati Uniti) al fine di garantire sicurezza, efficienza e riduzione di costi.

Considerando i volumi non enormi degli HLW (high level waste), la presente visione Europea di singoli depositi nazionali (ognuno deve tenere i propri rifiuti) dovrà in futuro cambiare per ridurre problematiche, costi e rischi di proliferazione ed aumentare la sicurezza. Solo pochissimi siti sarebbero più che sufficienti e tale attività potrebbe diventare un business per alcune nazioni che hanno

la possibilità di realizzare, con il consenso della popolazione, siti sicuri. Sono in corso iniziative internazionali per assicurare agli stati membri disponibilità di combustibile e di riprocessamento e la Global Nuclear Energy Partnership (GNEP), le proposte russe e quelle di qualche fornitore di centrali e/o di uranio, potrebbero cambiare in futuro lo scenario del ciclo dei combustibili.

8. L'Italia e il nucleare

L'Italia non è dotata di materie prime energetiche e ha attualmente un dipendenza dall'estero dell'86%, tendente a superare il 95% nel 2020; ha inoltre alti costi per la produzione di energia elettrica dovuti ad un mix "particolare" (55% gas, solo il 14% di carbone, 11% petrolio, 14% idro dei nostri nonni e niente nucleare) con problemi per le emissioni e con forti condizionamenti da opposizioni ambientali che si stanno manifestando anche per alcune fonti rinnovabili. Vale la pena di ricordare che l'Europa dei 25 produce oltre il 60% dell'energia elettrica da nucleare e carbone.

Occorre quindi una strategia che valorizzi la sicurezza delle forniture energetiche e bassi costi per l'elettricità; il nucleare sarebbe quindi la soluzione più logica come in Giappone e Sud Corea, nucleare abbinato ad una sana (anche economicamente) politica di sviluppo delle rinnovabili.

Per il nucleare, a parte l'aspetto fondamentale del consenso che occorre affrontare da subito [6], è necessario un approccio realistico che consideri 5 settori che, sebbene interagenti, possono essere trattati separatamente e con diverse ottiche e strategie di intervento:

- Presenza attiva in progetti R&D internazionali per essere pronti a cogliere le possibili applicazioni industriali (si parla di circa

25-30 anni per avere commerciali i reattori della 4° generazione).

- Presenza attiva in progetti esteri che coinvolgono realizzazioni con nuovi reattori disponibili (es.: EPR francese, Romania, Bulgaria).
- Acquisto (e presenza nella gestione) di centrali nucleari estere (vedi Enel - Slovacchia, Enel - Endesa).
- Presenza dell'industria italiana per sub-forniture relative alla realizzazione di centrali nucleari (occorre una strategia industriale ed un supporto politico).
- Realizzazione di un piano nucleare in Italia.

Per quanto riguarda un eventuale piano nucleare in Italia, occorre un approccio serio, bipartisan, pragmatico ed incisivo che tratti 4 fondamentali tematiche.

Come? (Affrontare l'opinione pubblica, legislazione, enti autorizzanti / controllanti, coordinarsi con i partners Europei, approccio "consortile" tipo Finlandia o con contratti di lungo termine tra offerta e domanda).

Quanto? (Per un'eventuale riduzione della bolletta energetica del paese, il nucleare dovrebbe avere una sensibile quota nel mix energetico per sfruttare anche l'effetto scala per i costi di investimento ed i tempi di realizzazione delle centrali. Come target ci si potrebbe porre la media EU del 30%).

Quando? (Non si può illudere il mercato e l'opinione pubblica che il nucleare risolva da domani tutti i problemi; è un piano che può vedere i primi frutti solo tra 10-12 anni se si affronta da subito il problema e con chiare priorità e determinazione).

È compatibile con l'attuale libero mercato un piano nucleare, senza creare vantaggi alla "domanda" di elettricità (consumatori) ed attribuendoli solo all'offerta che effettua gli investimen-

ti? Il mondo politico ed il mondo industriale devono trovare una via ed una modalità coerente con le scelte fatte dalla UE e dal paese nel campo di un libero mercato.

Occorrerà analizzare nuovi approcci e regole del mercato e considerare anche i “consumatori cittadini” i quali hanno meno del 25% dei consumi ma il 100% dei voti!

Affinché il progetto diventi una realtà occorre affrontare la sfida in un’ottica di sistema paese e non ideologica (non rivincita del referendum, non contrapposizione tra nucleare e rinnovabili); un chiaro disegno con chiare priorità deve essere definito e perseguito con un’attiva collaborazione tra istituzioni, investitori (offerta), consumatori (domanda), mondo accademico, industrie e popolazione. Per avere successo, il “saper fare” deve prevalere sul “far sapere” e sui particolarismi e presentare un quadro e tempi e costi realistici.

E le chiare priorità sono:

- celere definizione di regole e di autorità (possibilmente al singolare) che definiscano il cosa / come / chi autorizza e controlla, dando certezza ad investitori ed istituzioni ed alle popolazioni che debbono ospitare sul territorio le centrali
- celere piano di comunicazione e coinvolgimento di istituzioni e popolazione (cosa, a chi, come comunicare e da “chi credibile” fare effettuare la comunicazione, quali compensazioni ecc).

Occorre inoltre valutare i vincoli e gli adeguamenti necessari alla rete di trasmissione, adeguamenti che anche loro richiedono tempi lunghi.

In ogni caso bisogna eliminare ogni compromesso: se si vogliono realizzare delle centrali nucleari ora, esse sono e possono essere solo quelle della 3° generazione. Parlare di 4° generazione (vari progetti allo studio con prototipi sperimentali disponibili forse tra oltre un decennio e con realizzazioni per funzionamento commercia-

le verso il 2040) è solo una scusa per rimandare decisioni e realizzazioni come quelle che stanno concretizzandosi in vari paesi industrializzati (Stati Uniti, Francia, Finlandia, Russia, Giappone, ecc.) od emergenti od in transizione (Cina, Bulgaria, Romania ecc.).

Occorre però inquadrare la 3^a generazione nel percorso parallelo di ricerca e sviluppo per la 4^a generazione.

Bibliografia

- [1] World Energy Council - "The Role of Nuclear Power in Europe" by the WG chaired by A. Clerici - January 2007 - www.worldenergy.org.
- [2] Jiri Mandula - "Nuclear Energy Trends" – IAEA – June 2007.
- [3] World Energy Council - "2004 Survey of Energy Resources", coordinated by A. Clerici and published by Elsevier.
- [4] Risto Tarjanne - "Good experiences in Finland make nuclear attractive for the future" - Assemblea Generale dell'Associazione Industriali di Brescia - 11 giugno 2007.
- [5] IAEA report: – "Energy Electricity and Nuclear Power: Developments and Projections" – May 2007.
- [6] A. Clerici "Il nucleare presente e futuro" – Italia Energia 2007.

Energia nucleare oggi nel mondo: stato e prospettive di sviluppo

Stefano Monti *

È ormai certo che l'energia nucleare è destinata a fornire, anche nell'immediato futuro, un contributo crescente alla generazione di energia elettrica e di calore per riscaldamento, virtualmente senza emissioni di CO₂. Un'altra ricaduta utile della tecnologia nucleare potrebbe essere la produzione d'idrogeno e biocombustibili a basso costo che, a loro volta, grazie ad ulteriori progressi tecnologici nel settore dei trasporti, potrebbero sostituire i carburanti più inquinanti.

1. Quadro di riferimento

L'energia, e in particolare l'energia elettrica, è essenziale per la crescita economica e per una migliore qualità della vita, ma è opinione diffusa che il modello di evoluzione del consumo energetico, tipico del secolo scorso, non sia più sostenibile. Gli esperti del Gruppo di lavoro intergovernativo delle Nazioni Unite IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, rif. [1]) sono giunti alla conclusione che le emissioni di CO₂, in particolare quelle derivanti dalla produzione di energia elettrica che rappresentano la quota preponderante (v. fig. 1), devono essere dimezzate per riportare ad un livello tollerabile le conseguenze del cambiamento climatico di origine antropica.

* Presidente SIET S.p.A., Dirigente ENEA

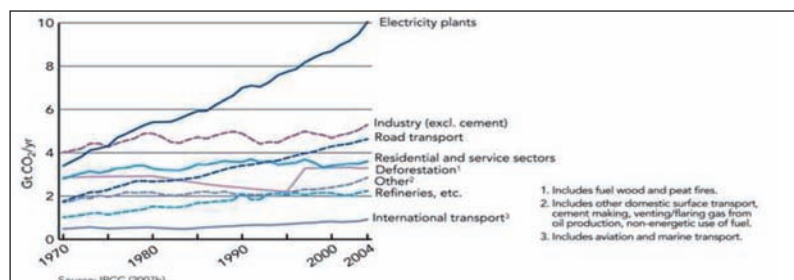


Figura 1: Sorgenti antropogeniche globali di emissione di CO₂

D'altra parte la domanda energetica, e in particolare quella di energia elettrica, continua ad essere in forte aumento, anche in prospettiva (v. fig. 2), soprattutto a causa dell'elevata crescita economica di molti Paesi emergenti (Cina ed India in testa), sempre più avidi di energia, ed alla contemporanea crescita demografica, valutata al 50% nei prossimi 50 anni (fig. 3), concentrata soprattutto nelle regioni in via di sviluppo.

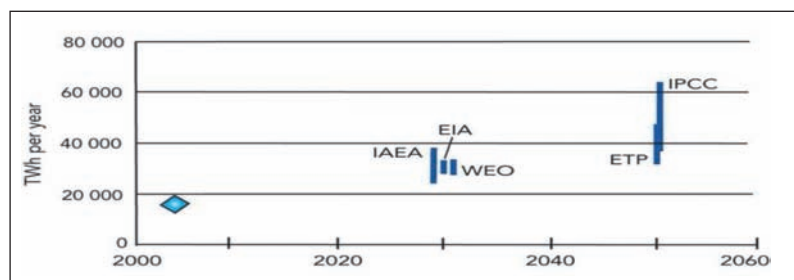


Figura 2: Previsto incremento della domanda mondiale di energia elettrica.
Nota: le barre al 2030 e al 2050 sono state separate per facilità di lettura.

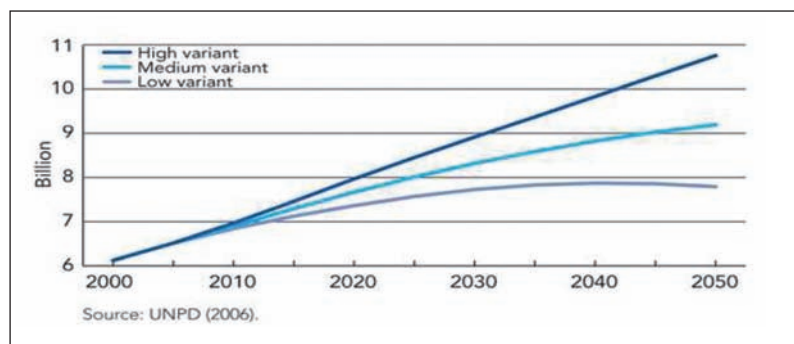


Figura 3: Previsioni di crescita della popolazione mondiale secondo UNPD

Per rispondere a questa domanda, il consumo di combustibili fossili continuerà la sua crescita inesorabile e, in attesa di poter applicare tecnologie innovative ancora allo stadio di R&S quale il sequestro della CO₂, ciò aggraverà ulteriormente il problema globale dell'emissione in atmosfera di gas clima alteranti.

Come previsto in buona parte del mondo occidentale, ed in particolare in Europa, la penetrazione nel mercato energetico delle energie rinnovabili dovrà senz'altro subire una forte accelerazione, ma esse, anche nel medio-lungo termine, non potranno che svolgere un ruolo complementare, a causa dei costi di generazione elevati che le caratterizzano rispetto alle altre fonti, oltre che alla loro debolezza intrinseca di non essere in grado di assicurare la continuità di una fornitura energetica congruente con le richieste della rete.

Se si considerano le tecnologie energetiche già mature e disponibili sul mercato, l'energia nucleare da fissione – assieme all'idroelettrico – si presenta dunque come l'unica fonte capace di rispondere al requisito fondamentale di fornire elettricità su vasta scala, permettendo nel contempo il rispetto delle limitazioni delle emissioni di gas serra.

A tale proposito è bene osservare che l'energia nucleare contribuisce già oggi a ridurre, in maniera significativa, le emissioni in atmosfera di gas climalteranti. Infatti, a fronte dell'emissione totale di 10 miliardi di tonnellate all'anno di CO₂ dal sistema mondiale di produzione di energia elettrica (v. fig. 1; il totale generale essendo di 26 miliardi di tonnellate di CO₂ all'anno), l'energia nucleare prodotta oggi nel mondo evita l'emissione di circa 2 miliardi di tonnellate di CO₂ all'anno. Per tale motivo il rapporto 2007 dell'IPCC sulla mitigazione dei cambiamenti climatici (rif. [1]) afferma che l'opzione più efficace dal punto di vista dei costi, allo scopo di limitare l'aumento di temperatura globale del pianeta sotto i 3 °C, richiederà, insieme alle altre misure, un aumento nella generazione di elettricità *carbon-free* (nucleare + idraulico) dal 34% attuale al 48-53% nel 2030. Con il raddoppio della domanda globale di elettricità a quella data, e con un costo di emissione di 50 US\$/tonnellata di CO₂, la quota di generazione elettronucleare è stimata dall'IPCC crescere dall'attuale 16% al 18% dell'aumentata domanda, ossia da 2650 TWhe/anno a circa 6000 TWhe/anno, il che equivarrebbe a più di un raddoppio della potenza nucleare attualmente installata. Similmente l'*International Energy Agency* nel suo "450 policy scenario"¹, presentato nell'ultimo *World Energy Outlook* appena emesso (rif. [2]), stabilisce che la capacità nucleare mondiale deve crescere almeno dell'80% rispetto all'attuale entro il 2030. Infine, il recentissimo *Nuclear Energy Outlook* della *Nuclear Energy Agency* dell'OECD (rif. [3]) prevede un aumento della capacità di produzione di energia elettrica da fonte nucleare di un fattore compreso tra 1,5 e 3,8, ovvero (v. fig. 4): a fronte degli attuali 438 reattori nucleari in operazione, all'orizzonte del 2050 nello scenario "baso" sono previsti 600 reattori (600 GWe installati) mentre in quel-

¹ 450 policy scenario: livello della CO₂ in atmosfera stabilizzato a 450 parti per milione, in modo da contenere l'aumento della temperatura globale a 2 °C

lo “alto” 1400 reattori (1400 GWe installati). Questi numeri non devono stupire in quanto l’esperienza realizzativa pregressa dimostra che è possibile costruire centrali nucleari anche ad un ritmo adeguato a soddisfare le proiezioni dello scenario NEA “alto”, di qui fino al 2050. Le recenti stime basate sui dati geologici regionali, che valutano ad alcune centinaia di anni la disponibilità di uranio al fabbisogno corrente [rif. 4], dimostrano che anche le risorse naturali necessarie per alimentare una tale espansione sarebbero sufficienti, anche senza il ritrattamento (v. oltre), almeno fino al 2050. Un programma nucleare globale più ampio di quello attuale potrebbe essere alimentato per migliaia di anni con le sole risorse di uranio già ora disponibili; questo però richiederebbe la realizzazione di reattori veloci (autofertilizzanti) con ciclo chiuso del combustibile, una tecnologia che è già ben conosciuta e sperimentata a livello prototipale, ma che non è ancora stata portata allo stadio di produzione su scala commerciale (v. oltre).

Per quanto riguarda la sicurezza, un’attenta analisi comparativa dei dati riguardanti gli incidenti nelle diverse filiere energetiche e la loro frequenza mostra che, contrariamente all’opinione più diffusa, la filiera nucleare presenta un rischio per incidente assai più basso di quello associato alle altre filiere (v. fig. 5). Considerato il ruolo che l’energia nucleare è destinata ad avere nei prossimi decenni nel mix energetico mondiale, è opportuno a questo punto effettuare un excursus sull’attuale utilizzo dell’energia nucleare nel mondo, nonché sui reattori di ultima generazione (III e III+) in via di costruzione e su quelli di prossima generazione (reattori di piccola-media taglia e di IV generazione) che saranno disponibili a medio e lungo termine.

2. Reattori nucleari in operazione ed in costruzione

Sono attualmente in esercizio nel mondo 439 centrali nucleari di potenza in 30 Paesi, per una potenza installata di 372 GWe (dato del giugno 2008), che coprono circa il 16% della produzione mondiale di energia elettrica (rif. [5]). Francia, Giappone e Stati Uniti detengono il 57% della capacità mondiale; nel 2007 sedici Paesi ricavavano più di un quarto della loro energia elettrica da centrali nucleari.

Per quanto riguarda il futuro prossimo venturo, si assiste ad una vera e propria rinascita dell'energia nucleare. Infatti, oltre alle innumerevoli richieste di prolungamento a 50-60 anni della vita degli impianti attualmente in esercizio, presentate alle varie autorità di sicurezza, vi sono attualmente 41 centrali nucleari in costruzione e centinaia pianificate soprattutto nei paesi asiatici (Cina, India, Corea, Giappone, ecc.) e nella Federazione Russa. Negli Stati Uniti un nuovo quadro di riferimento energetico in favore dell'energia nucleare ha già portato ad una ventina di richieste di *Combined Construction and Operating Licensing* di nuovi impianti e sono attesi a breve nuovi ordini. Le attuali strategie energetiche nazionali e le dichiarazioni di diversi governi lasciano intendere che i Paesi che avranno la maggior quantità di produzione elettronucleare nel 2020 saranno Stati Uniti, Francia, Giappone, Federazione Russa, Cina e Repubblica di Corea. La crescita più forte è attesa in Cina e negli Stati Uniti. In Europa sono in via di costruzione in Francia e in Finlandia due *European Pressurized Reactor* di III generazione avanzata e otto nuovi impianti nucleari sono stati annunciati dalla Gran Bretagna. Anche il governo italiano ha recentemente dichiarato la ferma volontà di riaprire l'opzione nucleare nel nostro Paese, con l'obiettivo di raggiungere la quota del 25% di elettricità prodotta per via nucleare all'orizzonte del 2030. Un'ulteriore novità è rappresentata dal-

lo spiccato interesse per l'energia nucleare da parte di vari Paesi in via di sviluppo (Vietnam, Marocco, Tunisia, Egitto, Algeria, ecc.).

Va osservato che la stragrande maggioranza del parco mondiale attuale è costituito da reattori della cosiddetta *II Generazione*, corrispondente alla tecnologia nucleare sviluppata negli anni '60-'80. La *I Generazione* è quella dei reattori prototipi sviluppati negli anni '50-'60, attualmente non più in funzione, tranne alcuni esemplari ancora in esercizio nel Regno Unito.

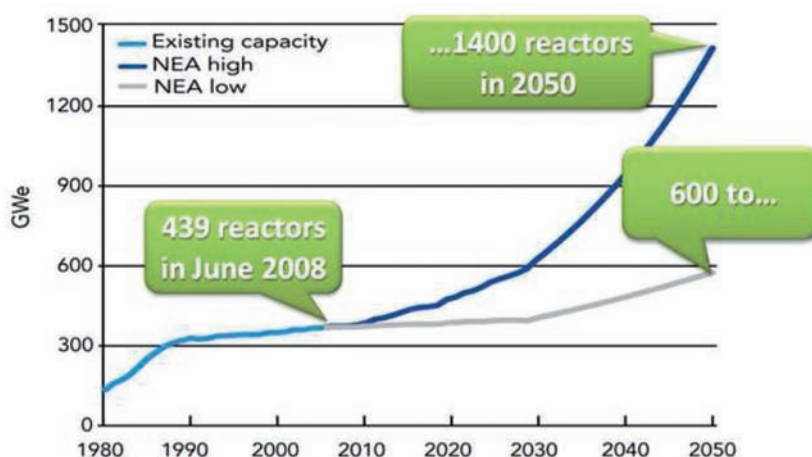


Figura 4: Capacità nucleare globale secondo i due scenari "alto" e "basso" elaborati dalla OECD-NEA.

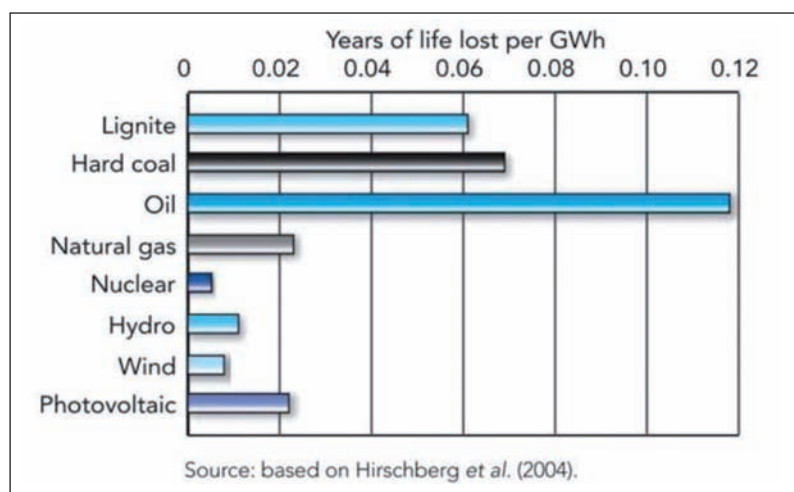


Figura 5: Mortalità dovute all'emissione dei maggiori inquinanti durante il ciclo di vita (funzionamento normale) dei sistemi energetici tedeschi

La *Generazione III+* sviluppata negli anni '90, rappresenta lo stato dell'arte attuale, ovvero i reattori disponibili oggi sul mercato. La differenza più rilevante degli impianti nucleari di III generazione rispetto a quelli di seconda consiste nell'adozione di sistemi di *sicurezza passiva*, ossia che non richiedono il controllo attivo mediante componenti e/o meccanismi attuati elettricamente o da un operatore, per la gestione di incidenti in caso di malfunzionamenti del sistema, ma fanno affidamento sulle leggi della fisica come la gravità, la condensazione, la convezione naturale o la resistenza alle alte temperature. Inoltre i reattori di Generazione III+, detti anche "evolutivi", rappresentano un avanzamento rispetto alla II Generazione per essere caratterizzati da:

- standardizzazione del progetto al fine di accelerare il processo di certificazione, riduzione del costo capitale e dei tempi di realizzazione;

- semplificazione e maggior “robustezza” del progetto, rendendone l’esercizio più semplice e meno vulnerabile ai malfunzionamenti operativi;
- più elevata disponibilità d’impianto e vita operativa più lunga (tipicamente 60 anni);
- riduzione del rischio di fusione nocciolo;
- riduzione dell’impatto ambientale a parità di energia prodotta;
- tassi di combustione (*burn-up*) nel combustibile più elevati con conseguente riduzione del volume dei rifiuti ad alta attività;
- utilizzo di veleni bruciabili per allungare la vita del combustibile.

Tra i reattori più rappresentativi di Generazione III+ spiccano: l’ABWR (*Advanced Boiling Water Reactor*) della General Electric, l’EPR (*European Pressurized Reactor*) della franco-tedesca Areva e l’AP-1000 (*Advanced Passive*) della Toshiba-Westinghouse. Essi si profilano come i reattori con la maggiore prospettiva di realizzazione nei prossimi decenni, prima dell’avvento della IV Generazione (v. oltre). Dell’ABWR sono già state realizzate 4 unità dalla Hitachi in Giappone, ove sono entrate in esercizio commerciale nel 1996. Dell’EPR sono già in costruzione due esemplari, il primo in Finlandia (Olkiluoto), il secondo in Francia (Flamanville). Quest’ultimo vede anche la partecipazione dell’ENEL nella misura del 12.5%, insieme a EdF. Altri due esemplari di EPR sono stati venduti alla Cina (Nov. 2007) e la loro costruzione è in preparazione sul sito di Tahishan nella provincia del Guangdong. Quattro reattori AP-1000 sono in via di realizzazione sui siti di Sanmen e Zhejiang sulla costa orientale della Cina da parte del consorzio Westinghouse-Shaw Group, con la partecipazione delle italiane Ansaldo Nucleare e Mangiarotti Nuclear. Va inoltre segnalato che negli USA, nell’ambito del nuovo processo di certificazione in corso, le utilities hanno scelto l’EPR in 5 casi e l’AP-1000 in 4 casi.

L’EPR (si veda per maggiori dettagli l’articolo di Graziano e Zac-

cai, ndr) è un reattore ad acqua pressurizzata da 1600 MWe di potenza netta, sviluppato da Areva-NP nel rispetto degli *European Utility Requirements*, requisiti molto stringenti stabiliti soprattutto sotto la spinta delle utilities franco-tedesche. Il reattore, già confermato come il nuovo standard per la Francia, è stato certificato dall'autorità di sicurezza francese nel 2004. È progettato per poter funzionare in maniera flessibile, avere un *burn-up* nel combustibile di circa 60 MWd/kg ed un rendimento vicino al 37%. Oltre al funzionamento con nocciolo standard a uranio arricchito, è previsto che possa funzionare con un intero nocciolo MOX (combustibile ad ossidi misti di U e Pu). È atteso avere anche un fattore di carico particolarmente elevato, pari al 92%, ed una vita operativa di 60 anni. I tempi nominali di realizzazione, dopo la realizzazione del *First-of-a-kind*, sono previsti in circa 5 anni come segue: 1,5 anni per il permesso di costruzione e preparazione sito, 3 anni costruzione, 0,5 anni prove di avvio per l'entrata in esercizio commerciale. La sicurezza di EPR è basata sulla ridondanza dei sistemi attivi, che interiorizzano l'esperienza di circa 1500 anni.reattore dei reattori franco-tedeschi, e sul particolare irrobustimento del sistema di contenimento realizzato in calcestruzzo armato a doppia parete di circa 1 m di spessore ciascuna, con liner di rivestimento in acciaio sulla parete interna. Gli obiettivi di sicurezza sono perseguiti attraverso un aumento di ridondanza dei sistemi (ridondanza quadrupla di sistemi indipendenti), rispetto ai reattori attuali (ridondanza doppia). In caso d'incidente è sufficiente l'intervento di uno dei quattro sistemi per assicurare: l'arresto immediato del reattore, la refrigerazione sicura del nocciolo, il mantenimento del livello di temperatura e pressione nel sistema di contenimento al di sotto dei limiti di progetto.

Il reattore AP-1000 (si veda per maggiori dettagli l'articolo di Gaio, ndr) della Westinghouse (*Pressurized Water Reactor* con potenza elettrica netta di 1117 MWe, rendimento del 35%, vita operativa 60 anni), ha ottenuto la certificazione finale dalla Autorità di Sicurezza

za americana NRC (*Nuclear Regulatory Commission*) nel dicembre 2005, anche sulla base di prove integrali di sistema e sicurezza effettuate negli anni '90 presso la società SIET di Piacenza, partecipata di ENEA, ENEL, Finmeccanica-Ansaldo e Politecnico di Milano.

La tecnologia dell'AP-1000 deriva dai 50 anni di esperienza dei reattori PWR della Westinghouse attualmente in esercizio, alla quale si affianca un livello considerevole di semplificazione impiantistica come obiettivo importante del progetto; semplificazione che riguarda l'intero sistema di sicurezza, dai componenti normali, alla sala controllo, alle tecniche di costruzione, ai sistemi di strumentazione e controllo, con il risultato di ottenere un impianto più facile e meno costoso da costruire, gestire e su cui operare la manutenzione. La sicurezza in AP-1000 è basata sulla prassi, consolidata nell'ingegneria dei reattori nucleari, dei livelli di difesa multipli ed indipendenti (*Defense-in-depth*) per la mitigazione degli incidenti. Sua caratteristica peculiare è, tuttavia, l'uso dei *sistemi a sicurezza passiva* che fanno affidamento esclusivo sulle forze della natura – circolazione naturale, gravità, convezione, condensazione, ecc. – che entrano in gioco nel caso, per quanto remoto, di incidente. Anche in caso di perdita totale di alimentazione elettrica con contemporanea mancanza di azione dell'operatore, il reattore si auto-spegne e rimane raffreddato in sicurezza.

3. Reattori nucleari in via di sviluppo e cicli del combustibile avanzati

Prima di addentrarci nella descrizione dei sistemi nucleari di IV generazione, vale la pena citare i reattori di Generazione III+ di piccola-media taglia (100-500 MWe) destinati ad essere introdotti nel mercato entro i prossimi 10-15 anni, e che risultano particolarmente

te interessanti per quei Paesi in via di sviluppo dotati di reti elettriche e infrastrutture piuttosto limitate.

Fra essi particolare attenzione merita il reattore *IRIS* (*International Reactor Innovative & Secure*, rif. [6]), sviluppato da un gruppo internazionale (IRIS Project) di 20 partners (università, industrie, enti di ricerca, utilities) provenienti da 10 paesi (USA, Brasile, Croazia, Giappone, Italia, Messico, Spagna, Regno Unito, Lituania ed Estonia), sotto la leadership di Westinghouse LLC. In Italia il progetto IRIS è portato avanti da ENEA, CIRTEN, Ansaldo Nucleare e Mangiarotti Nuclear, nell'ambito di un programma di R&S finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico. Come più dettagliatamente descritto in un altro articolo di questa medesima rivista, IRIS è un reattore PWR modulare da 335 MWe la cui taglia è stata scelta nella prospettiva di localizzazione sia di moduli singoli (specialmente nei Paesi in via di sviluppo, con reti elettriche di piccole dimensioni ed allo scopo di produzione combinata di elettricità, calore e/o acqua potabile), sia di centrali pluri-modulo, gestite attraverso un'unica sala controllo. IRIS è un reattore a configurazione integrale, cioè particolarmente semplificata e compatta, in cui tutti i componenti del circuito primario sono collocati all'interno del vessel reattore (si veda per maggiori dettagli l'articolo di Carelli e Lombardi, ndr). Questo tipo di layout permette di incrementare drasticamente la sicurezza, poiché in tal modo, a progetto, vengono eliminate le grandi tubazioni primarie fuori vessel, fonte principale di rischio per gli incidenti di perdita di refrigerante (grandi LOCA-*Loss of Coolant Accident*). In IRIS l'88% degli incidenti di classe superiore è eliminato all'origine, o comunque mitigato.

Anche le prove integrali di sistema e di sicurezza di IRIS, al pari di quelle per la certificazione dell'AP1000 sopra menzionato, verranno effettuate in Italia presso la società SIET di Piacenza.

I reattori nucleari sopra descritti operano tutti in ciclo aperto, ovvero con combustibile che passa una sola volta all'interno del reat-

tore o, tutt'al più, con mono-riciclo del plutonio e dell'uranio. Ovviamente, come accennato in premessa, il nuovo impulso nella costruzione di tali impianti ha rimesso al centro dell'attenzione la questione della disponibilità del combustibile nucleare. Le attuali riserve uranifere mondiali sono di 5,47 milioni di tonnellate, quelle che potrebbero essere sfruttate circa 15 milioni di tonnellate [rif. 4]. L'attuale consumo di 67.000 t di uranio all'anno crescerebbe a 90.000 t all'anno nell'ipotesi che da oggi al 2025 si passi ad una potenza nucleare installata compresa fra 449 e 553 GWe. Assumendo che l'attuale capacità nucleare installata di 370 GWe cresca fino a 1400 GWe nel 2050 (v. scenario NEA "alto" in premessa) e che a quella data l'intero parco reattori mondiale sia composto da *Light Water Reactor* a ciclo aperto (come è attualmente quasi al 100%), le risorse uranifere mondiali sarebbero completamente "esaurite" nell'arco della vita di quei reattori. Questo fatto, unitamente alla necessità di minimizzare i rifiuti radioattivi mediante riciclo del combustibile irraggiato, è la ragione principale del lancio di iniziative internazionali atte a promuovere l'immediato sviluppo ed il futuro utilizzo, attorno al 2030-2040, di reattori a spettro neutronico veloce di IV generazione con un ciclo del combustibile chiuso. Il ricorso a tali cicli – che prevedono l'utilizzo come combustibile nucleare non solo dell'uranio (naturale ed impoverito) ma anche del plutonio derivante dal ritrattamento del combustibile irraggiato e dallo smantellamento delle testate nucleari - permette di moltiplicare l'energia potenzialmente producibile per via nucleare di un fattore 60, a parità di uranio utilizzato. In tal modo l'energia nucleare da fissione diviene una potenziale fonte di energia per migliaia di anni.

Per quanto riguarda l'altro problema, spesso sollevato, della gestione del combustibile esaurito, esistono oggi soluzioni tecniche per lo stoccaggio sicuro e definitivo dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita. Ad esempio negli Stati Uniti, in Francia, in Finlandia e in Svezia, dopo un ampio dibattito pubblico e l'ac-

quisizione del parere di autorevoli comitati, si è adottato un programma nazionale per lo stoccaggio finale di tali rifiuti. Occorre peraltro notare che, nonostante i rifiuti nucleari rappresentino un volume molto ridotto rispetto a quelli generati dalle altre attività industriali², la percezione pubblica della pericolosità per l'uomo e l'ambiente di tali rifiuti resta particolarmente elevata. Per tale motivo - e per raggiungere l'obiettivo tecnico di ridurre i requisiti del deposito geologico - sono state recentemente intraprese rilevanti attività di R&S che mirano alla drastica riduzione dei rifiuti radioattivi a lunga vita mediante tecniche di separazione e trasmutazione. In particolare, la separazione ed il riciclo degli attinidi in sistemi nucleari a spettro neutronico veloce permettono di ridurre il carico termico, il volume ed il tempo di confinamento dei rifiuti radioattivi che richiedono un deposito geologico. Recenti sviluppi hanno mostrato che è possibile ottenere elevatissimi tassi di separazione degli attinidi dal resto del combustibile nucleare esausto: questo fatto apre la via alla possibilità di "trasmutare" questi elementi in un sistema a spettro nucleare veloce (critico o sottocritico), utilizzando il loro potenziale energetico e, nello stesso tempo, eliminandoli come materiali radioattivi a lunga vita.

In sintesi, l'adozione di cicli del combustibile basati sull'utilizzo di reattori nucleari a spettro neutronico veloce di IV generazione e sulla separazione spinta ed il riciclo degli attinidi nei medesimi reattori consente un utilizzo ottimale delle risorse naturali e la minimizzazione dei rifiuti radioattivi da inviare al deposito geologico; è in questo che consiste il cosiddetto nucleare da fissione "sostenibile" (v. fig. 6 e rif. [7]).

² Come riportato nel « *Rapport No. 3003 Assemblée Nationale, relatif à la gestion des matières et des déchets radioactifs* », Cl. Birraux, 29 mars 2006, in Francia, dove sono in esercizio 58 impianti nucleari di potenza, si produce un kg di rifiuti nucleari all'anno e per abitante, di cui solo 10 gr rappresentano rifiuti radioattivi a lunga vita, che vanno comparati con i 100 kg di rifiuti industriali e a 2500 kg di rifiuti solidi urbani.

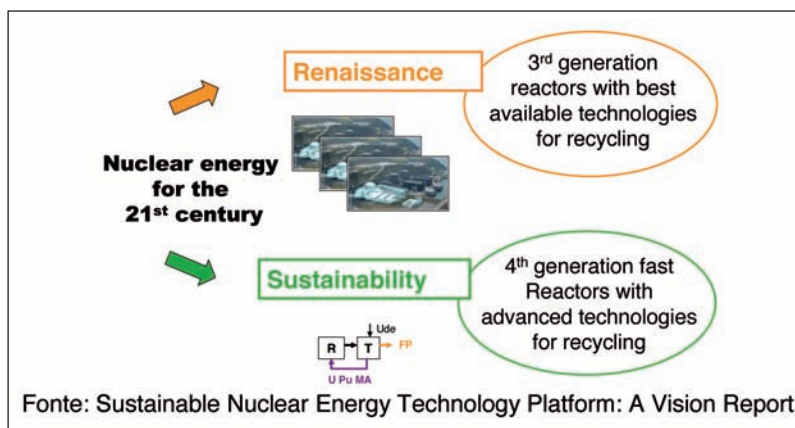


Figura 6: Sostenibilità dell'energia nucleare. Fonte: Sustainable Nuclear Energy Technology Platform: A Vision Report

I reattori nucleari di IV generazione ed i relativi cicli del combustibile avanzati vengono sviluppati nell'ambito di molteplici iniziative internazionali, fra cui vale la pena ricordare:

- *Generation IV International Forum* (GIF, rif. [8]), lanciato dal *Department of Energy* (DOE) americano nel 2000, a cui l'Italia partecipa tramite Euratom;
- *International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles* (INPRO, rif. [9]), promosso nel 2000 dall'*International Atomic Energy Agency* (IAEA). L'Italia è osservatore ed è in procinto di diventare membro effettivo;
- *Global Nuclear Energy Partnership* (GNEP, rif. [10]), lanciata dal Governo americano nel 2006. Il governo italiano ha siglato il relativo Statement of Principle nel 2007;
- Specificamente in Europa: *Sustainable Nuclear Energy Technology Platform* (SNETP, rif. [11]). Vari soggetti italiani, fra cui l'E-NEA, vi partecipano attivamente

I reattori di IV generazione sviluppati in GIF - ovvero i sistemi nu-

cleari in via di sviluppo che potranno divenire operativi fra 20 o 30 anni, subentrando all'attuale generazione di reattori a neutroni termici refrigerati ad acqua - dovranno rispettare i seguenti requisiti:

- *sostenibilità*, ovvero massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi;
- *economicità*, ovvero basso costo del ciclo di vita dell'impianto e livello di rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici;
- *sicurezza e affidabilità*; in particolare i sistemi di quarta generazione dovranno avere una bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore e tollerare anche gravi errori umani; non dovranno, inoltre, richiedere piani di emergenza per la difesa della salute pubblica, non essendoci uno scenario credibile per il rilascio di radioattività fuori dal sito;
- *resistenza alla proliferazione e protezione fisica* contro attacchi terroristici.

Oltre 100 esperti dei 10 Paesi aderenti a GIF hanno lavorato per due anni all'esame di un centinaio di alternative tecnologiche e, con la pubblicazione nel dicembre 2002 di una *Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems* (rif. [12]), sono pervenuti a definire i sei concetti più promettenti per la IV Generazione di reattori nucleari, intorno a cui organizzare il successivo programma di ricerca e sviluppo. I sei sistemi nucleari selezionati da GIF, quasi tutti a spettro neutronico veloce e ciclo del combustibile chiuso che permette la trasmutazione dei radio-nuclidi a vita lunga con riciclo completo di tutti gli attinidi (uranio, plutonio e attinidi minori), sono (si veda per maggiore dettagli l'articolo di Cinotti e De Grandis, ndr):

- *Gas-Cooled Fast Reactor* (GFR)
- *Lead-Cooled Fast Reactor* (LFR)

- *Molten Salt Reactor* (MSR)
- *Sodium-Cooled Fast Reactor* (SFR)
- *Supercritical-Water-Cooled Reactor* (SCWR)
- *Very-High-Temperature Reactor* (VHTR)

I Paesi costituenti il GIF sono: Argentina, Brasile, Canada, Francia, Giappone, Gran Bretagna, Repubblica di Corea (Sud), Repubblica del Sud Africa, Svizzera, e Stati Uniti; anche l'EURATOM, per l'Unione Europea, aderisce al Forum. Nel corso del 2006 si sono avute intense trattative con Federazione Russa e Cina che, pertanto, sono entrate a far parte di GIF nel 2007. Il vasto programma nucleare previsto in entrambi questi Paesi fornirà sicuramente un ulteriore forte impulso all'iniziativa Generation IV. L'Italia (ENEA, Ansaldo Nucleare, CESI Ricerca e Università), contribuendo in maniera significativa ad alcuni progetti del VI e VII Programmi Quadro Europei indirizzati allo sviluppo di reattori di IV generazione³, partecipa di fatto all'iniziativa Generation IV tramite l'EURATOM.

Ogni Paese partecipante a GIF si concentra, con proprie attività di R&S, su quei sistemi e su quelle linee di ricerca che rivestono il maggior interesse nazionale. Nel febbraio 2005 cinque Paesi partecipanti al GIF, e cioè Stati Uniti, Canada, Francia, Giappone e Gran Bretagna, firmando un cosiddetto *Framework Agreement* hanno concordato un programma comune di ricerca e sviluppo sui sei progetti prescelti. Anche l'EURATOM ha successivamente siglato tale accordo, permettendo a tutti gli stati membri, fra cui l'Italia, di contribuire alla fase di R&S dei sei concetti di GENIV.

³ In particolare Ansaldo Nucleare è il coordinatore del progetto europeo denominato ELSY – *European Lead-cooled System*, che prevede lo sviluppo della progettazione concettuale e delle tecnologie associate del Lead Fast Reactor (LFR) di IV generazione.

4. Conclusioni

È ormai certo che l'energia nucleare è destinata a fornire, anche nell'immediato futuro, un contributo crescente alla generazione di energia elettrica e di calore per riscaldamento, virtualmente senza emissioni di CO₂. Un'altra ricaduta utile della tecnologia nucleare potrebbe essere la produzione d'idrogeno e biocombustibili a basso costo che, a loro volta, grazie ad ulteriori progressi tecnologici nel settore dei trasporti, potrebbero sostituire i carburanti più inquinanti.

Anche in Italia l'attuale governo ha deciso di rilanciare l'opzione nucleare, con l'obiettivo di pervenire nel 2030 ad un mix energetico che preveda una quota di energia elettronucleare del 25%. Al fine di creare un clima favorevole al rilancio dell'opzione nucleare, il governo è in procinto di:

- Istituire una nuova agenzia nazionale per la sicurezza nucleare;
- Definire i criteri per l'identificazione dei siti nucleari e la certificazione delle tecnologie di riferimento;
Semplificare le procedure autorizzative;
- Definire le misure di compensazione per le popolazioni residenti in prossimità di nuove installazioni;
- Definire delle soluzioni affidabili per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi e per lo smantellamento delle installazioni nucleari a fine vita.

Condizione necessaria per la ripartenza è comunque valorizzare le competenze ancora presenti in Italia e rilanciare l'alta formazione di una nuova generazione di esperti nucleari, nonché prevedere reti di collaborazione internazionale, in particolare nel campo della R&S, dello stoccaggio dei rifiuti radioattivi e del ciclo del combustibile. I vari soggetti nazionali sono dunque chiamati a contribuire, ognuno nell'ambito delle proprie competenze e fun-

zioni, a questa nuova *policy* energetica che si preannuncia come una vera e propria sfida per l'intero sistema socio-economico del nostro Paese.

Bibliografia

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (www.ipcc.ch): Climate Change 2007
- [2] World Energy Outlook, OECD/IEA, 2008
- [3] Nuclear Energy Outlook, OECD/NEA, 2008
- [4] Uranium 2007: Resources, Production and Demand (Red Book), OECD/NEA – IAEA
- [5] World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.html>
- [6] IRIS – International Reactor Innovative and Secure: Progress in Development, Licensing and Deployment Activities, Atti della 6a International Conference on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids, Dubrovnik, Croazia, 21-25 maggio 2006
- [7] Sustainable Nuclear Energy Technology Platform: Strategic Research Agenda – novembre 2008
- [8] GIF, Generation IV International Forum, <http://www.gen-4.org/>
- [9] INPRO, International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, <http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPTDS/Projects/INPRO/index.html>
- [10] GNEP, Global Nuclear Energy Partnership, <http://www.gnep.energy.gov/>
- [11] SNETP, Sustainable Nuclear Energy Technology Platform, <http://www.snetp.eu/>
- [12] A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, The Generation IV International Forum, 2002

Nuovo nucleare: il caso Finlandia

Silvio Bosetti* e Marco Ricotti**

L'esperienza finlandese dimostra come il nucleare sia possibile da realizzare, anche per una nazione dinamica ma molto più piccola dell'Italia, paragonabile a poco più di metà Lombardia per numero di abitanti, con un PIL pro capite e totale di poco inferiore, in proporzione, a quello lombardo, e con un sistema industriale che non sfigura certo al confronto con quello del nord-Italia.

1. Premessa

Nella lunga ed impegnativa, ancorché lungimirante, strada verso la riconsiderazione della fonte nucleare per l'Italia, appare quanto mai opportuno prendere in considerazione le esperienze positive già realizzate in altri Paesi, per valutarne gli spunti di interesse. In particolare e soprattutto in quei Paesi che hanno ripreso di recente la costruzione di nuovi impianti nucleari.

Tra gli esempi più significativi di Paesi che hanno considerato la spinosa questione nucleare, tenendo in debita considerazione molti degli aspetti critici, dal quadro legislativo alle possibili alternative tecnologiche, dai percorsi autorizzativi alla gestione dei rischi per la sicurezza, dal rispetto del territorio e dell'ambiente alla tutela della salute della popolazione, sino alla gestione dei rifiuti nucleari e alla formazione delle competenze, occorre certamente considerare il caso finlandese.

Nel contesto dei paesi europei, la Finlandia registra un elevato

* Direttore Generale Fondazione Energy Lab

** Politecnico di Milano

consumo di energia pro-capite annuo, pari a 16.600 kWh per i suoi circa 5,3 milioni di abitanti, con una importante crescita negli ultimi venti anni. La potenza il picco del fabbisogno è superiore ai 16.000 MW.

La previsione governativa sui consumi ipotizza che verranno superati i 100 TWh nei consumi entro i prossimi dieci anni. Questi livelli sono dovuti alla presenza di grandi industrie *energy-intensive*, in particolare nel comparto delle *forest industries* che comprende imprese dedite alla produzione di carta, cellulosa, legname. L'industria registra ben più della metà dei consumi di elettricità (55%) mentre gli usi civili sono all'incirca del 25% e i servizi poco meno del 20%, con le perdite di sistema considerate attorno al 5%.

La liberalizzazione del mercato (attraverso l'*Electricity Market Act* - legge sul mercato elettrico) è stata avviata nel 1997, poco prima che in Italia. Il principale compito della l'Autorità per il mercato dell'Energia (EMV) è quello della supervisione delle regole di prezzo per le reti e per i servizi. L'Autorità promuove l'efficienza della competizione: elabora e pubblica in tempo reale gli andamenti dei prezzi al mercato (fig. 1).

La Borsa Elettrica Finlandese (EL-EX) è stata costituita nel 1996 ed è entrata in azione nell'anno successivo, mentre fin dal '93 è operativo il *Nordic Pool* che gestisce il mercato dell'energia nei paesi scandinavi. Il risultato finale è che i valori dei prezzi di borsa dell'elettricità nei paesi scandinavi sono i più bassi d'Europa, indipendentemente dal valore del barile di petrolio.

Nel 2007 la Finlandia ha importato il 13,9% dell'energia consumata. In questo contesto di dipendenza (risibile per noi, allarmante per i finlandesi) la Finlandia ha via via investito per ridurre la dipendenza energetica dai Paesi confinanti, anche se sono in fase di valutazione le reti di interconnessione con la contigua regione nordica della Russia. Le alternative, in un paese molto attento alla riduzione delle emissioni di CO₂, in fase di abbandono del carbo-

ne, esaurite le potenzialità nel comparto idroelettrico, restano l'aumento di produzione con gas naturale, i biocombustibili e gli impianti nucleari.

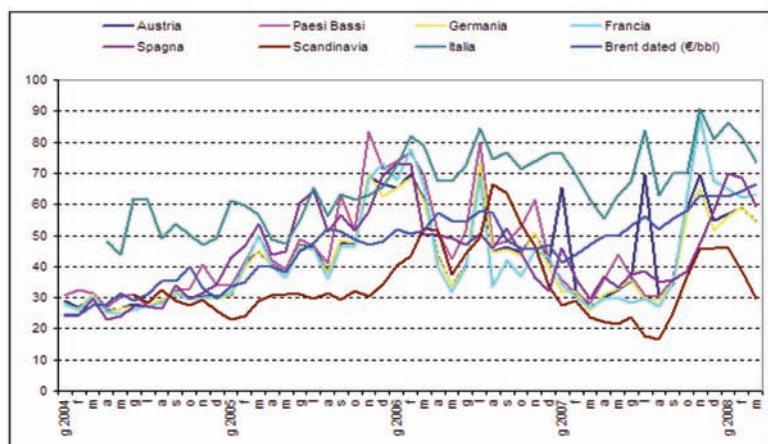


Figura 1: Confronto dell'andamento dei prezzi dell'energia elettrica alle borse europee

Nel 2000 le previsioni in decisa crescita della dipendenza energetica dall'estero, ovvero un "alto rischio" (sic!) di superare il 25% entro il 2015, innescarono il processo di valutazione dell'opportunità di riprendere le costruzioni per la fonte nucleare e, a valle di un confronto tra le varie fonti energetiche, la decisione governativa e parlamentare in tal senso.

Una decisione che conferma una strategia di lungo tempo verso l'atomo. I reattori finlandesi sono sempre stati presi come esempio di macchine affidabili e ben gestite, mostrando sin dagli anni '90 i maggiori fattori di carico e disponibilità tra tutti i reattori funzionanti al mondo. Anche oggi, i loro fattori di carico rimangono attorno al 95%, tra i più alti al mondo.

Le centrali sono suddivise equamente tra due imprese: la Teollisuuden Voima Oy (TVO), che gestisce le centrali di Olkiluoto 1 e

2 (due BWR da 860 MWe), e la Fortum Power Oy, che fa funzionare quelle di Loviisa 1 e 2 (due VVER di tecnologia russa da 488 MWe). Le quattro centrali sono state potenziate e oggetto di investimenti con manutenzione straordinaria che hanno permesso l'estensione del periodo di attività ad almeno cinquanta anni, della capacità produttiva (+26%) e della capacità disponibile (94%). Questi miglioramenti continueranno verosimilmente anche negli anni a venire.

Ora, sul sito di Olkiluoto, dal 2005 è in costruzione la terza centrale TVO, un reattore EPR da 1600 MWe che pur tra alterne vicende sta procedendo verso il completamento e la messa in rete prevista per il 2012.

Quali suggerimenti utili si scorgono nell'analisi della storia e dell'attuale situazione finlandese? Facendo tesoro dei risultati e delle informazioni raccolte durante la visita in Finlandia di una delegazione della Fondazione EnergyLab, è possibile sintetizzare in tre punti gli aspetti positivi e di interesse anche per l'Italia.

2. L'organizzazione legislativa e normativa

La valutazione politica e istituzionale circa l'opzione nucleare è sempre stata attenta e aperta al confronto, mantenendo stabile nel tempo il suo ruolo di supervisione e controllo senza necessariamente rimettere in continua discussione il benessere agli impianti e agli investimenti. Un quadro legislativo e regolatorio stabile caratterizza il quadro finlandese, condizione invero necessaria per poter decidere di investire in centrali di questo tipo.

Nel 2003 il *Nuclear Energy Act* (1987 – che insieme al Decreto *Nuclear Energy* del 1988 costituisce la legislazione nucleare vigente) è stato modificato per consentire anche il finanziamento della ricerca sulla sicurezza del nucleare. L'obiettivo dell'emendamento è sta-

to quello di mantenere un alto livello della ricerca sulla sicurezza nazionale e assicurare le competenze per un lungo periodo. In realtà, oltre ai programmi di ricerca nazionale stabiliti con l'emendamento, le stesse utilities nucleari e la Posiva Oy, società di gestione dei rifiuti nucleari, svolgono e finanziano progetti di ricerca e sviluppo per promuovere le loro stesse attività.

Dal punto di vista autorizzativo, il Ministero dell'Industria e del Commercio (KTM) ha la responsabilità di supervisione sulle operazioni nucleari e sul *waste disposal*. Per operare al meglio il Ministero è poi assistito dall'*Advisory Committee on Nuclear Energy* e dall'*Advisory Committee on Radiation Protection*. Oltre a queste strutture è presente lo STUK-Agenzia Nazionale per la Sicurezza Nucleare, che in qualità di Ente autonomo è responsabile per la regolazione e per le ispezioni, è sotto la direzione del Ministero delle Politiche Sociali e della Salute.

L'iter autorizzativo e le condizioni necessarie per la costruzione di un nuovo impianto nucleare conferiscono al Parlamento il potere di concedere o ratificare l'autorizzazione finale per il permesso di costruzione di una nuova centrale, incluse le strutture per la collocazione definitiva delle scorie.

Sono stabilite le procedure per l'assegnazione delle licenze (requisiti poi dettagliati da direttive dell'Agenzia di Sicurezza STUK) e le condizioni per gli usi dell'energia nucleare, comprese le modalità di gestione dei rifiuti radioattivi: ogni produttore è infatti responsabile della sicurezza, della movimentazione e della logistica dei rifiuti e si assume tutti gli oneri economici ad essi collegati. Il produttore è inoltre responsabile dell'accantonamento delle somme finanziarie necessarie per la dismissione degli impianti.

La procedura di autorizzazione per un nuovo impianto nucleare, sia per un nuovo reattore o per un sito per lo smaltimento dei rifiuti, prevede sei passi:

1. la Valutazione di Impatto Ambientale (EIA), che l'operatore richiedente effettua e sottopone agli Enti preposti;
2. l'Autorizzazione Preliminare (Decision-In-Principle, DiP): l'operatore presenta la richiesta al Governo per ottenere una autorizzazione preliminare alla costruzione e all'esercizio dell'impianto;
3. le Dichiarazioni degli Enti: il Governo richiede alla STUK una prima valutazione sulla sicurezza, poi vengono interpellate le municipalità presenti nel territorio che è stato individuato come sito e si richiedono esplicite dichiarazioni a diverse altre autorità ed Enti collegati; il Ministero dell'Industria e del Commercio è responsabile del coordinamento e della preparazione della istruttoria necessaria alla decisione da parte del Parlamento;
4. Ratifica del Parlamento: il Governo, dopo avere preso conoscenza della DiP e in base alle dichiarazioni dei vari organismi interessati, valuta se la costruzione sia o non sia in linea con il benessere generale della società e la sottopone alla ratifica da parte del Parlamento; l'organo supremo può solo approvare o rifiutare, senza possibilità di apportare cambiamenti al progetto e alla conseguente decisione; prima dell'autorizzazione per la costruzione della centrale deve essere fatta anche la richiesta per la costruzione del sito di stoccaggio dei rifiuti nucleari;
5. la Domanda per la costruzione, con la quale l'operatore fa richiesta nei tempi dovuti al Governo per l'autorizzazione alla costruzione;
6. La Domanda per l'esercizio, con la quale l'operatore richiede al Governo l'autorizzazione operativa per l'esercizio del nuovo impianto.

L'intero processo prevede quindi una forte responsabilità politica, attraverso i numerosi pronunciamenti da parte di Parlamento e Governo. Una simile struttura autorizzativa non è replicata in altri Paesi come il Regno Unito, la Francia o gli Stati Uniti, ed è con tut-

ta probabilità non completamente replicabile anche nella realtà italiana, ma indica chiaramente una decisa e importante copertura politica ed una strutturazione in pochi enti (Agenzia e Comitati) con chiare responsabilità.

Infine, nell'ambito delle valutazioni sul mantenimento e la costruzione degli impianti nucleari è largamente tenuto in considerazione il consenso della popolazione. Il livello di accettazione è oggetto di monitoraggio dal 1982, con frequenza annuale e con una procedura di valutazione consolidata. L'accettazione della produzione nucleare, ovvero una risposta positiva all'impiego di questa tecnologia, è cresciuta da un 20% del 1983 fino al 50% del 2006, mentre quella negativa è scesa da valori superiori al 40 % a valori inferiori al 20% nel medesimo anno. Nel 2007 un quotidiano di Helsinki ha commissionato a Gallup un'inchiesta i cui risultati indicano una accettazione favorevole del 58% da parte della popolazione (fig. 2).

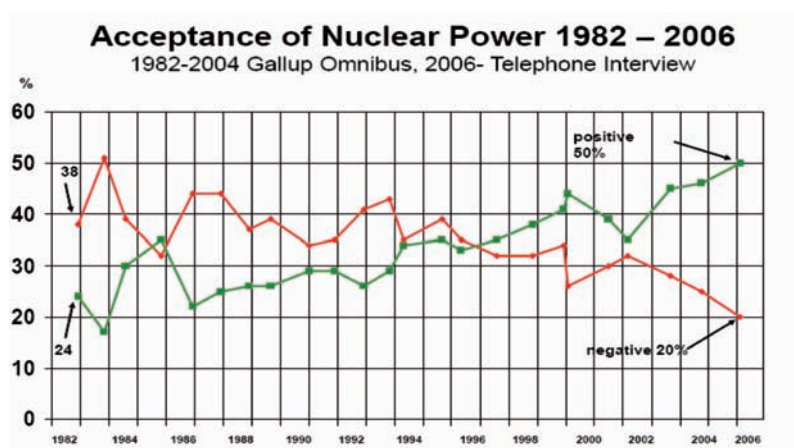


Figura 2: Percentuale del grado di accettazione del nucleare in Finlandia

3. La struttura consortile

Il modello economico dei consorzi, che risultano al contempo proprietari e gestori dell'impianto, è riconosciuto e replicato: sono Enti No profit, con un socio di maggioranza e di riferimento (una Utility di grandi dimensioni) che convive perfettamente con gli associati industriali (soprattutto le industrie della carta e del legno) e le aziende locali municipalizzate, quelle che distribuiscono l'elettricità nei principali centri urbani. Con questo approccio, la realizzazione dell'impianto di Olkiluoto 3 è stata finanziata da banche e istituti di credito in percentuali impensabili sino ad oggi in occidente, con tassi di interesse assolutamente adeguati a supportare il successo finanziario dell'operazione.

La struttura del consorzio è stato adottato da alcune imprese di produzione di energia, che operano secondo il cosiddetto "*Mankala model*", un modello in base al quale è riconosciuto possibile dal 1963 (data della sentenza emessa dalla Suprema Corte finlandese per una vicenda inerente un'impresa denominata Mankala, appunto) avviare la realizzazione in cooperativa di nuove centrali, generando vantaggi ai soci in parità alle quote di partecipazione, anche a quelli di dimensioni minori. Ogni azionista è obbligato a contribuire alle spese generate dalla operatività dell'azienda ed è abilitato a ritirare l'energia (o il bene prodotto) in pari quantità. Non esistono quindi dividendi (si tratta in sintesi di no-profit Company) e la compagnia opera secondo il principio dei prezzi direttamente collegati ai costi.

Questo modello societario ed economico è stato applicato all'industria nucleare finlandese ed è del tutto particolare se confrontato con gli altri sistemi energetici europei. Infatti, la Finlandia non avendo un operatore dominante come nel caso francese, e avendo un'economia fortemente incentrata nel settore industriale *energy-intensive* con profilo di *base load*, ha potuto indirizzarsi verso questa particolare soluzione di autoproduzione in cooperativa.

Questo modello permette anche alle società di dimensioni relativamente contenute e che non dispongono singolarmente di sufficienti competenze, risorse e forme di finanziamento, di costruire impianti ad altissima intensità di capitali come sono gli impianti nucleari. Le singole imprese interessate danno vita, utilizzando il citato “principio Mankala”, alla costituzione di varie consociazioni di imprese, che a loro volta costituiscono la società energetica vera e propria che intende finanziare e gestire l’opera. Il “principio Mankala” permette da un lato la contemporanea presenza di piccole e medie società industriali e di municipalità energetiche, e dall’altro una riduzione dei rischi associati all’investimento e quindi a un migliore rapporto tra capitale proprio e capitale di debito di finanziamento.

Tale strategia realizzativa è stata seguita da TVO anche per la realizzazione della sua terza centrale a Olkiluoto. TVO ha siglato con Areva un contratto chiavi in mano, per il quale quindi i rischi collegati alle maggiorazioni di costi o ai ritardi nella consegna sono interamente sopportati dal costruttore e non dal committente. Questa struttura contrattuale è particolarmente adatta nel campo nucleare visto che permette una previsione accurata del costo dell’energia prodotta. Oltre ai vantaggi industriali, il *turnkey contract* ha dato vita anche a vantaggi sul piano dei finanziamenti. Infatti, il contratto a prezzo fisso ha permesso la riduzione del rischio sulla fattibilità del progetto e il reperimento di prestiti a tassi d’interesse agevolati (stimato intorno al 2,6%). Il finanziamento della nuova centrale nucleare è avvenuto con una complessa rete di finanziamenti e conferimenti di capitale ma con solo il 20% di equity impegnata da TVO (fig. 3).

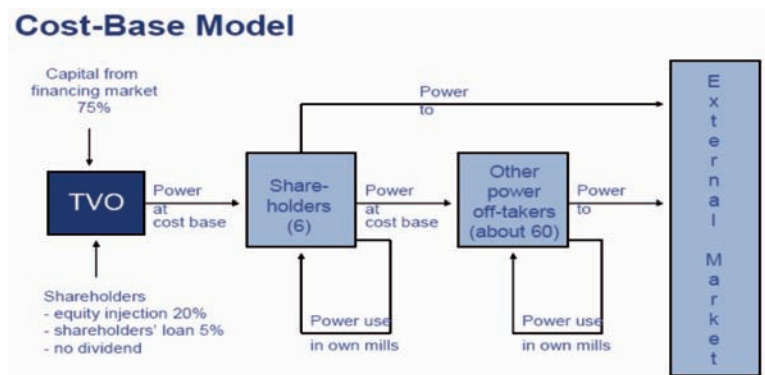


Figura 3: Il modello di business TVO per la realizzazione di Olkiluoto 3

Le imprese direttamente detentrici di azioni di TVO sono sei, ma oltre sessanta imprese, di cui il 60% è di tipo industriale e solo il 40% di tipo energetico (in particolare municipalità), costituiscono gli azionisti indiretti. In questo modo gli utilizzatori finali ricevono un quantitativo di energia elettrica proporzionale alle quote detenute nelle sei imprese. Nel caso in cui all'impresa non necessitasse l'energia cui ha diritto, è concessa la possibilità di cederla sul mercato della Borsa elettrica del Nord Pool. La possibilità di vendita dell'energia sul Nord Pool permette anche la minimizzazione del costo dell'energia prodotta tramite la massimizzazione del fattore medio di carico e di funzionamento della centrale.

Anche un altro consorzio si è costituito di recente per partecipare alla gara per l'assegnazione dei diritti di costruzione della sesta centrale nucleare finlandese. La nuova società Fennovoima, capeggiata da E.On per il 34%, vede la partecipazione di altre cinquantotto imprese, ma a differenza di TVO, nel progetto Fennovoima Oy le industrie forestali non sono presenti in maniera preponderante, mentre sono presenti soprattutto municipalità, che andranno quindi a

vendere elettricità prodotta dalla possibile nuova centrale ai clienti residenziali e commerciali (fig. 4).

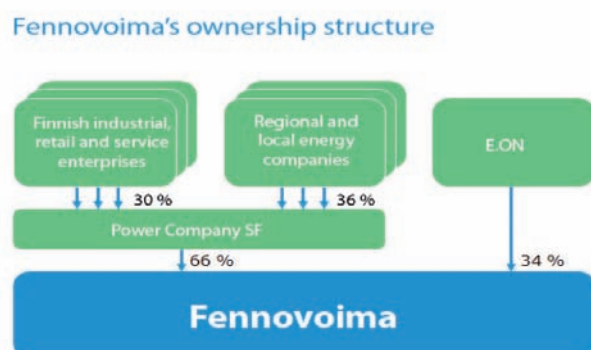


Figura 4: Il modello organizzativo Fennovoima

4. La gestione dei rifiuti

Il *Nuclear Energy Act*, oltre a definire i soggetti decisori, ha anche dato attuazione alle norme sulla responsabilità della gestione e smaltimento dei rifiuti nucleari, che ricade sulle aziende operanti nel settore. Il programma finlandese di gestione dei rifiuti iniziò nel 1983 attraverso la costituzione di un fondo, sotto la direzione del Ministro dell'Economia (pari a 1,4 miliardi di euro nel 2005). Nel 1994 un emendamento al *Nuclear Act* ha poi vietato l'import e l'export di rifiuti nucleari. Per tale ragione la società Fortum, che esportava i propri rifiuti per il riprocessamento, ha iniziato la costruzione di piscine per il deposito del combustibile esausto.

Nel 1995 è stata poi creata la società Posiva Oy per il deposito del combustibile esausto, di cui sono proprietari per il 60% TVO e per il 40% Fortum. Posiva si occupa dello smaltimento del combu-

stibile esausto attraverso la costruzione e gestione di strutture apposite. In particolare la società sta sviluppando studi e un impianto pilota per lo stoccaggio definitivo (*final waste disposal*) in una struttura granitica a 500m di profondità.

La scelta politica è stata di consentire un diritto di veto alla comunità locale. Gli studi in loco sono proseguiti per oltre venti anni includendo analisi di sicurezza, selezione dei siti e valutazioni di impatto ambientale. Tra i quattro siti adeguati all'obiettivo, nel 2001 è stato scelto quello nella municipalità di Eurajoki, ovvero nell'area di Olkiluoto, con un forte appoggio locale.

Ora una facility di caratterizzazione o laboratorio per la roccia – ONKALO – è attualmente in costruzione a 500m nel sottosuolo e le analisi si protrarranno per alcuni anni. Al termine verrà presa la decisione finale. La licenza di costruzione del sito e dell'impianto di condizionamento dei rifiuti verrà emessa entro il 2012, per rendere operativo l'impianto entro il 2020. La costruzione dei tunnel di stoccaggio procederà in parallelo con il funzionamento.

Gli elementi di combustibile esaurito verranno inseriti dodici alla volta in cilindri di acciaio borato e chiusi in una capsula di rame. Ogni capsula sarà posizionata in un foro nel terreno, poi riempito con cemento. L'accesso sarà garantito e il combustibile potrà essere ripreso per eventuali futuri riprocessamenti.

Il costo stimato per il confinamento di 2600t di combustibile esausto per i quattro reattori finlandesi, prodotto durante il funzionamento in quaranta anni di vita, è di circa 818 milioni di euro inclusi i costi di costruzione (228 milioni di euro), incapsulamento e i costi operativi (538 milioni di euro). Con il quinto reattore, in totale saranno 6500 le tonnellate da confinare.

Oltre alla problematica del combustibile, il governo finlandese ha individuato anche la soluzione del *decommissioning* e della gestione del resto dei rifiuti nucleari. È stato stimato che il costo per queste due attività è pari a 0,23 centesimi di euro/kWh (non scontati),

circa il 10% del costo di produzione, e quindi è stato deciso di riservare una parte del costo dell'energia prodotta dal nucleare a queste due attività.

L'unicità del sito di Olkiluoto, oltre alla presenza di due reattori funzionanti più uno in costruzione e del sito per il confinamento geologico profondo del combustibile esaurito, è completata dalla presenza sin dal 1992 di un deposito sotterraneo per i rifiuti di bassa e media radioattività, che ha richiesto tre anni di lavoro e 15 milioni di euro, che nel futuro potrà essere modificato per poter ospitare anche il risultato del *decommissioning* delle altre tre centrali. Il sito è collocato a 70-100m di profondità nel sottosuolo in una struttura granitica. È composto da due silos, uno per i rifiuti a bassa e l'altro per i rifiuti a media attività. La capacità attuale totale dei silos è di 40mila fusti da 200 litri ciascuno, che corrispondono all'accumulo di rifiuti per oltre quaranta anni di funzionamento delle centrali.

Infine, sul sito è in funzione dal 1987 anche l'impianto per lo stoccaggio superficiale, in piscina, del combustibile esaurito. Il costo è stato di 31 milioni di euro, per una capacità di 1270 tonnellate di rifiuti. Qui viene temporaneamente stoccato il combustibile esausto ovvero il rifiuto ad alta radioattività, intendendo con "temporaneo" un intervallo di tempo sino al 2120.

Strutture del tutto simili a quelle di Olkiluoto sono presenti anche a Loviisa dal 1998. Per i rifiuti di bassa e media radioattività, sono le imprese stesse a essere responsabili e non l'azienda Pövis, la quale si occupa solo del combustibile esaurito.

In definitiva, per convincersi della fattibilità e della opportunità offerta dal nucleare, spesso più delle parole possono i fatti. Visitare il sito di Olkiluoto, dove i finlandesi stanno completando la loro quinta centrale, la terza sul sito, il tutto con il beneplacito della popolazione ed un appoggio politico bipartisan alla strategia energetica di lungo periodo, pur dopo una seria battaglia politica ed una ri-

gorosa valutazione comparativa tra fonti energetiche in concorrenza, fossili e rinnovabili, può essere assai educativo (fig. 5).

L'esperienza finlandese dimostra come il nucleare sia possibile da realizzare, anche per una nazione dinamica ma molto più piccola dell'Italia, paragonabile a poco più di metà Lombardia per numero di abitanti, con un PIL pro capite e totale di poco inferiore, in proporzione, a quello lombardo, e con un sistema industriale che non sfigura certo al confronto con quello del nord-Italia, si pensi alla sola Nokia. Se ci confrontiamo con i finlandesi, possiamo vantare il più grande mercato di telefonia mobile del mondo, ma non possediamo una industria equivalente al colosso finnico dei cellulari. Possediamo, nostro malgrado, il costo dell'energia elettrica più elevato d'Europa. Basterà per spingerci ad imitare la scelta strategica finlandese di dotarsi di una significativa percentuale di elettricità da nucleare?

La decisione spetta al Paese e a tutte le sue componenti, opinione pubblica inclusa.



Figura 5: Il sito nucleare finlandese di Olkiluoto. Nell'ordine: 1) e 2) centrali nucleari OL1 e OL2, in funzione dagli anni '80; 3) centrale OL3 in costruzione (reattore EPR da 1600 MWe); 4) sito per il confinamento dei rifiuti a media e bassa attività, in deposito sotterraneo; 5) sito per il deposito temporaneo (sino al 2120) superficiale del combustibile esaurito; 6) sito per la possibile futura costruzione di OL4; 7) poco distante, ad Onkalo, si trova l'area dove sorgerà il sito geologico profondo (-500m) per lo stoccaggio definitivo del combustibile esaurito

Nucleare in Italia: le strozzature da rimuovere

Roberto Adinolfi*

Il mio obiettivo è quello di dimostrare che sostenere l'impossibilità per l'Italia di tornare al nucleare non è un argomento oggettivamente fondato e non può quindi essere utilizzato per eludere la vera domanda: che contributo può realisticamente dare il nucleare alla politica energetica italiana?

1. Premessa

Si comincia a parlare di “rinascimento nucleare” e molti sono i fatti a sostegno di questa prospettiva. Negli Stati Uniti alcune utilities hanno dato avvio al processo per l'ottenimento della licenza per la costruzione e l'esercizio di nuovi impianti nucleari. In Europa sono in corso diversi progetti per il completamento di centrali nucleari o la costruzione di nuove unità come in Finlandia, Francia e Gran Bretagna. Cina, Corea e Giappone continuano a sviluppare programmi nucleari molto ambiziosi. A livello internazionale, inoltre, sono molte le iniziative promosse volte alla progettazione e sviluppo di una nuova generazione di impianti.

Il mio obiettivo è, quindi, di dimostrare che sostenere l'impossibilità per l'Italia di tornare al nucleare non è un argomento oggettivamente fondato e non può quindi essere utilizzato per eludere la vera domanda: che contributo può realisticamente dare il nucleare alla politica energetica italiana?

* AD Ansaldo Nucleare, gruppo Ansaldo Energia

Mi sembra utile, a questo scopo, tentare innanzitutto una classificazione in tre grandi famiglie degli aspetti principali e forse anche più problematici che rilevano per il dibattito sul nucleare:

1. *Le questioni tecniche*
2. *L'esistenza delle necessarie competenze*
3. *Gli ostacoli istituzionali e di sistema*

2. Le questioni tecniche

Tra gli ostacoli di natura squisitamente tecnica che renderebbero difficile ritornare al nucleare in Italia, il primo da affrontare, anche se solo per eliminarlo dal dibattito, è *la necessità di aspettare una nuova generazione di impianti più sicuri*, i cosiddetti impianti di quarta generazione.

Questa dicitura è nata agli inizi degli anni 2000, quando gli USA hanno deciso di lanciare un programma di ricerca e sviluppo a livello internazionale (il Generation IV International Forum, o GIF), il cui obiettivo dichiarato era la valutazione di quelle tecnologie nucleari meno sperimentate finora, ma più promettenti dal punto di vista di prestazioni termodinamiche avanzate (ad esempio, adatte alla produzione di idrogeno), di sfruttamento ottimizzato del contenuto energetico del combustibile, di minimizzazione delle scorie. Trattandosi di tecnologie poco sviluppate, il traguardo temporale per il loro sfruttamento industriale si colloca al 2025-2030.

Si noti che tra gli obiettivi del GIF non figura per nulla il miglioramento della sicurezza rispetto ai reattori attuali, giacché gli standard di sicurezza da questi raggiunti sono considerati più che soddisfacenti: anzi, scopo del GIF è proprio assicurare che anche impianti basati su nuove tecnologie raggiungano pari livello di sicurezza, prima di essere industrialmente utilizzati!

In effetti, lo sviluppo dell'impiantistica nucleare si è orientato al

miglioramento della sicurezza ben prima di Chernobyl. Il crollo dei nuovi ordini negli anni '80 era, infatti, in larga parte riconducibile al sovrapporsi di nuovi requisiti di sicurezza, con il maturare dell'esperienza di esercizio: ciò creava incertezza nella stima dei costi e dei tempi di realizzazione, e quindi aveva minato l'accettabilità del rischio di un progetto nucleare da parte dell'industria elettrica.

È così maturata, tra i vari progettisti, la convinzione che fosse necessario rivedere le basi di progetto dei nuovi impianti, sviluppando i *reattori di terza generazione*, ovvero reattori che utilizzano ancora le tecnologie ampiamente provate nei precedenti impianti (reattori ad acqua in pressione e ad acqua bollente, in particolare) ma si caratterizzano per nuovi approcci sistematici alla soluzione del problema sicurezza/costi.

E non può essere dimenticato che proprio l'Italia ha dato un rilevante contributo allo sviluppo di alcuni di questi impianti innovativi. A valle dell'incidente di Chernobyl e della decisione di fermare le centrali in esercizio e in costruzione, si proclamò infatti l'intenzione di perseguire lo sviluppo di *reattori a maggior sicurezza intrinseca e passiva* (cfr, Piano Energetico Nazionale del 1988), ossia di impianti (quali l'AP1000 della Westinghouse o l'SBWR della General Electric), nei quali si ricorre a meccanismi fisici elementari, come la circolazione naturale o l'iniezione per gravità, per assicurare la refrigerazione del nocciolo e l'asportazione del calore residuo in qualsiasi condizione incidentale.

Coerentemente con quelle dichiarazioni, ENEL, ENEA ed Ansaldo si associarono ai programmi già in corso, in particolare negli USA, fornendo contributi non marginali sia alla definizione dei nuovi obiettivi di progetto, sia allo sviluppo di alcuni degli aspetti più innovativi.

Oggi gli impianti di terza generazione (sia quelli passivi, sia quelli di tipo più tradizionale, quale l'European Pressurized Reactor dell'Areva o l'Advanced Boiling Water Reactor di General Electric/Hi-

tachi/Toshiba) sono stati approvati dalle Autorità di Sicurezza e sono in via di realizzazione in vari Paesi: essi offrono un significativo miglioramento del livello di sicurezza rispetto agli impianti delle precedenti generazioni, e sono quindi più che adeguati anche per eventuali realizzazioni in Italia. Prospettare la necessità di aspettare una nuova generazione di impianti più sicuri è nient'altro che il solito alibi (già utilizzato nell'88) per decidere di non decidere.

Di ben diversa natura un'altra difficoltà "tecnica" di cui si dibatte, ossia *la mancanza di una soluzione del problema scorie*. In effetti, è innegabile che la sistemazione definitiva delle scorie, non solo in Italia ma ovunque nel mondo, è un problema non più procrastinabile se si vuole continuare con l'energia nucleare.

Per di più, questo è il problema che, stando a tutti i sondaggi, è oggi maggiormente percepito dalla pubblica opinione.

Un caso esempio al quale val la pena guardare è la Finlandia. Qui, a fine anni '90, il Parlamento aveva bloccato la proposta di realizzare una quinta centrale nucleare, proprio sulla base di preoccupazioni legate alle scorie. Gli enti elettrici hanno quindi avviato un processo di confronto aperto con la popolazione nei siti potenzialmente adeguati per ospitare un deposito geologico profondo. Una volta raggiunto, in tutti i siti, un elevato grado di consenso, confermato da consultazioni referendarie, è stato scelto il sito definitivo e la nuova domanda per la realizzazione della centrale è stata approvata dal Parlamento con larga maggioranza.

Il caso finlandese ben rappresenta la reale natura del problema scorie: non più mancanza di soluzioni adeguate, come ben sanno gli addetti ai lavori che unanimemente concordano sull'adeguatezza del deposito geologico; piuttosto "problema sociale", da gestire in maniera totalmente trasparente e secondo la logica della democrazia partecipativa.

Resta da esaminare l'ultima difficoltà tecnica spesso evocata, ossia *la disponibilità di siti adeguati*.

Anche se è ben noto che la disponibilità di siti in Italia è limitata dalla diffusa sismicità e dall'elevata densità di popolazione, specie nelle zone costiere, mi sembra che agitare questo spauracchio come ostacolo alla ripresa del nucleare in Italia sia del tutto inappropriato: si sta infatti parlando, verosimilmente, di circa 10.000 MW da installare, ossia di due-tre siti, che possono facilmente essere reperiti tra quelli già utilizzati o identificati in passato.

In conclusione, non credo che le difficoltà che si frappongono a un eventuale ritorno del nucleare in Italia siano quelle di natura tecnica: cosa non trascurabile, giacché proprio queste risultano quelle più difficilmente valutabili dai non esperti e quindi, se utilizzate strumentalmente, possono affossare il dibattito sul nascere.

3. L'esistenza delle necessarie competenze

La prima considerazione è che, nonostante tutto, *nel nostro Paese non è scomparsa la cultura nucleare di base*. Le nostre Facoltà di Ingegneria Nucleare hanno saputo in qualche modo sopravvivere, magari allargando la sfera di attenzione ai temi dell'energetica in generale, ma senza perdere di vista l'insegnamento delle nozioni fondamentali. Saggiamente, si sono date coordinamento tramite il Consorzio CIRTEN, riuscendo a mantenersi in contatto con il mondo accademico europeo. Certo, il numero di laureati che oggi sono in grado di sfornare è nell'ordine di un centinaio all'anno, del tutto insufficienti per soddisfare la richiesta dei prossimi anni. È importante però che esista ancora una struttura accademica capace di formare. Inoltre, bisognerà guardare anche all'estero, basandosi sulle presenze che le industrie italiane stanno consolidando in paesi quali Slovacchia e Spagna (ENEL) o Romania (Ansaldo). La crisi di ingegneri nucleari è infatti un male che non affligge solo l'Italia ma tutta l'Europa Occidentale, come dimostrato dall'interesse per i laureati

italiani recentemente mostrato da grosse aziende straniere.

Ed è qui che comincia a manifestarsi l'importanza e l'utilità di rilanciare la partecipazione a progetti di ricerca internazionali: il mondo dell'Università ha bisogno di attività innovative per attrarre nuove leve, possibilmente anche dall'estero, e mantenersi aggiornato.

D'altra parte, la seconda considerazione che vorrei fare, in controtendenza con l'opinione generale, è proprio che *il nostro Paese non è rimasto fuori dai circuiti della ricerca nucleare* in questi anni, anche se è sempre più a rischio di emarginazione.

Fin quando sono stati disponibili fondi nazionali, seppure in maniera limitata (indicativamente fino a metà degli anni '90), l'Italia ha saputo collocarsi in posizione non marginale nello sviluppo dei reattori di terza generazione: alcuni dei componenti più innovativi dei reattori a sicurezza passiva sono stati sviluppati in Italia, sia dal punto di vista della progettazione, che della realizzazione prototipica e della verifica sperimentale (è questo il caso dell'Isolation Condenser e del Passive Containment Cooler dell'ESBWR, ovvero del Passive Residual Heat exchanger dell'AP1000). La verifica integrata del comportamento dell'AP1000 a fronte dei transitori incidentali è stata eseguita in Italia, presso l'impianto SPES della SIET a Piacenza, così come alla Casaccia sono state eseguite le prove di verifica dell'innovativo sistema di depressurizzazione pilotata che caratterizza questo impianto.

Venuti poi a mancare i finanziamenti pubblici, i ricercatori italiani si sono rivolti ai fondi europei per continuare la loro attività sul nuovo fronte dei reattori di quarta generazione, che oggi li vede impegnati tanto nello sviluppo di reattori veloci che di bruciatori di scorie sottocritici (il cosiddetto Accelerator Driven System proposto dal prof. Rubbia). Ma la ricerca europea sta oggi riorganizzandosi, a fronte degli investimenti crescenti richiesti per lo sviluppo di questi reattori, per integrare i programmi comunitari con quelli nazionali: è quindi necessario, al più presto, riavviare linee pro-

prie di finanziamento, se non si vuole essere progressivamente esclusi dalle nuove conoscenze, che si svilupperanno in un ambito europeo di tipo “multinazionale” più che comunitario.

Se dal punto di vista della cultura di base e delle strutture di ricerca si può contare, a mio avviso, su una situazione non troppo degradata e recuperabile con un’ incisiva azione di rilancio, le cose stanno senz’altro peggio se si analizzano le competenze specialistiche richieste per operare impianti nucleari.

In effetti, in mancanza di impianti in esercizio effettivo, *le competenze di esercizio e di controllo dell’esercizio sono andate praticamente perdute.*

Come ricostituirle? L’ENEL potrà verosimilmente contare sulle centrali recentemente acquisite in Slovacchia e in Spagna, riappropriandosi della cultura dell’esercizio e addestrando progressivamente personale da impegnare eventualmente su future centrali in Italia. Altri operatori oggi attivi in Italia (Edison tramite EdF, Tractebel, EON) non mancano di ampia esperienza nucleare, anche per loro si pone però il problema di addestrare staff locali. Per tutti gli esercenti, quindi, c’è da mettere in conto un rilevante investimento in training, di durata pluriennale, per poter realizzare centrali nucleari in Italia.

La situazione più complessa da recuperare appare quella dell’Autorità di Sicurezza, ridotta ad una mera direzione dell’APAT, all’interno del Ministero dell’Ambiente, e da troppo tempo inattiva nel campo della realizzazione di nuovi impianti e componenti.

Da ultimo, *esaminiamo la situazione dell’industria sistemistica e componentistica: inadeguata quantitativamente, ma non qualitativamente.*

Infatti, se è vero che delle molte industrie attive in campo nucleare a metà degli anni ’80 ne rimangono oramai solo uno sparuto manipolo, è altresì dimostrato che queste poche realtà, che sono sopravvissute cercando lavoro all’estero per oltre venti anni, hanno saputo trovare un loro spazio, seppur modesto, e raggiungere risul-

tati, spesso ignorati dalla nostra stampa, ma di rilievo non trascurabile.

Ansaldo Nucleare ha saputo in questi anni preservare un notevole patrimonio di conoscenze nel campo della sistemistica e della progettazione dei componenti speciali, ma anche della realizzazione di impianti. Abbiamo infatti contribuito in misura rilevante alla realizzazione delle due prime unità dell'impianto di Cernavoda in Romania, collaborando con l'Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL). Nel caso della seconda unità, avviata nello scorso settembre, Ansaldo ha partecipato al management dell'impresa con proprio personale per un totale di 275 anni-uomo (pari al 40% dell'impegno totale del nostro consorzio), impiegato principalmente nel project & construction management, nel quality control, nella progettazione di sistemi ausiliari. Ha anche fornito un notevole numero di componenti, tutti approvvigionati sul mercato italiano. Mi si permetterà di sottolineare come Cernavoda 2 sia tra le pochissime realizzazioni europee di questo decennio: paradossalmente, quindi, l'industria italiana può affermare, pur con la dovuta modestia, di avere competenze realizzative in campo nucleare, recenti e non inferiori a quelle di molte altre industrie europee!

Nel campo della progettazione del Sistema Nucleare in senso stretto, Ansaldo Nucleare ha partecipato attivamente, come già detto, allo sviluppo dei reattori passivi: il nostro contributo all'AP1000 assomma a più di 260 anni-uomo, includendo attività di analisi incidentale, progettazione di componenti e sistemi a fluido, impiantistica dell'edificio reattore, schermaggio. Oggi siamo impegnati con uno staff di più di 40 tecnici nella progettazione del primo impianto cinese.

Per quanto riguarda la manifattura di componenti, abbiamo ancora in Italia delle capacità di rilievo per i grandi componenti nucleari: Camozzi Energy Special Components ha fornito negli ultimi anni sei generatori di vapore al mercato statunitense, e si è trattato dei

generatori di vapore più grandi mai realizzati (anche il progetto è italiano e porta la firma di Ansaldo Nucleare). Carente invece la produzione di componenti standard, ma in qualità nucleare (valvole, pompe, ecc.), così come assente è la capacità di produrre sistemi di controllo e protezione. Vale la pena però sottolineare che nell'ambito del progetto Cernavoda abbiamo potuto constatare come, con un opportuno supporto da parte nostra, molte industrie italiane siano ancora in grado di produrre componenti in regime di qualità: ritengo dunque che, con un opportuno programma di sostegno, l'industria manifatturiera italiana possa recuperare in tempi ragionevolmente brevi la sua capacità di partecipare a realizzazioni nucleari. D'altra parte, se si considera che anche all'estero c'è stato notevole ristagno nelle attività manifatturiere negli ultimi anni, si può sperare che anche in termini di competitività l'industria italiana non sia irrimediabilmente tagliata fuori. È necessario però che essa ricominci ad investire da subito, così come stanno facendo le altre industrie europee: per far ciò, è necessario che essa si rivolga non al solo mercato italiano, ma all'intero mercato europeo, in modo da non restare intrappolata nelle incertezze di un'eventuale ripresa del nucleare italiano. Laddove quindi ci si ponga, tra gli obiettivi di una ripresa del nucleare in Italia, anche lo sviluppo di una propria capacità manifatturiera, sarebbe da considerare un programma di supporto alle industrie nazionali nei loro sforzi per qualificarsi come fornitori a livello europeo: penso a un programma di sviluppo tecnologico e di certificazione, ma anche a meccanismi di credito all'export.

4. Gli ostacoli istituzionali e di sistema

Vorrei quindi esaminare gli ostacoli istituzionali e di sistema che in Italia si frappongono ad un ritorno al nucleare con un occhio alle difficoltà che sono state affrontate e risolte in altri Paesi, che si

sono analogamente trovati a far “rinascere” il nucleare, quali gli USA o la Gran Bretagna, per valutare quanto esse combacino e se alcune delle strategie seguite all'estero siano riproponibili con successo anche qui da noi.

Il primo ostacolo è quello della *chiarezza del processo autorizzativo*.

La normativa italiana è ferma agli anni '80, e già all'epoca essa risultava estremamente complessa, chiamando in causa un elevato numero di soggetti, con confini di competenza non sempre netti. Nel frattempo sono cambiate molte delle situazioni di riferimento: si pensi ad esempio al nuovo ruolo delle Regioni, ovvero agli obblighi derivanti dalla normativa europea rispetto alla concorrenza e agli aiuti di Stato nel settore elettrico. Per di più la normativa italiana prevede una serie di approvazioni parziali, per le varie fasi della realizzazione; la licenza di esercizio, poi, è concessa solo ad impianto completato.

La chiarezza del processo autorizzativo è stato il problema centrale che si è dovuto affrontare per il rilancio del nucleare USA. Nei primi anni '80, infatti, anche in America si erano verificati casi di centrali parzialmente o interamente costruite e poi bloccate per mancanza dell'autorizzazione finale (ad esempio la centrale di Shoreham, a Long Island). L'industria elettrica ha perciò sollecitato una revisione delle procedure ed è stato varato il cosiddetto *one step licensing process*. Esso è basato sulla concessione di un'unica autorizzazione, la *Construction & Operating License (COL)*, che permette sia di costruire sia di esercire un impianto. Inoltre, nell'ottica di separare i problemi da affrontare in sede autorizzativa e di ricondurli ciascuno nell'ambito più appropriato, è stata prevista la possibilità di richiedere, da parte dei *nuclear vendors*, la *Design Certification (DC)* di un progetto standard. Così, se l'ente elettrico che intende realizzare l'impianto decide di utilizzare tale progetto, non dovrà, in sede di richiesta della COL, sottometterlo a nuova approvazione, ri-

ducendo così rischi e tempi per l'ottenimento della COL. Sia la COL sia la DC sono concesse dall'Autorità di Controllo, ma per entrambe è prevista una procedura di consultazione del pubblico, nell'ambito della quale vengono convogliate anche le osservazioni degli altri *stakeholders*.

L'approccio americano si è dimostrato efficace nel rimuovere i timori degli investitori. Addirittura, il governo americano ha accettato di accollarsi gli extra-costi generati da eventuali ritardi nel processo di licensing dei primi nuovi impianti. Aiuti di Stato? No, direi piuttosto assunzione delle proprie responsabilità da parte dell'Amministrazione, in un rapporto corretto tra istituzioni e operatori economici!

Altro ostacolo da rimuovere, per decidere di investire nel nucleare, è *l'incertezza sulle future regole di mercato*.

Con gli attuali prezzi dei prodotti petroliferi, pochi hanno dubbi sulla competitività del kWh nucleare. Ma come più volte osservato, ciò non è sufficiente per decidere un investimento di miliardi di euro, che avrà bisogno, per rientrare, di molti più anni che non un investimento in un ciclo combinato: meglio un investimento meno redditizio sul lungo termine, ma a rischio per un più breve periodo!

Si è perciò avanzato il dubbio che, in un mercato elettrico puramente competitivo, sia difficile trovare chi investa in impianti nucleari, ad eccezione, magari, dei grandi consumatori, come in Finlandia interessati molto più alla certezza del costo dell'energia nel lungo termine che non al ritorno sull'investimento nell'impianto di generazione.

Tale affermazione mi sembra eccessiva: credo che i *big* della Power Generation siano interessati ad un mix ben bilanciato di fonti, per essere al riparo dalle fluttuazioni dei prezzi, e che quindi nessuno di loro vorrà rinunciare, *quam minime*, alla sua quota di nucleare, come dimostra l'attivismo dell'ENEL (l'unico big europeo che

partiva da zero), o, se si preferisce, la pari attenzione agli investimenti nucleari all'estero recentemente manifestata dai big tedeschi e svedesi, che debbono fare i conti con una progressiva riduzione delle loro capacità domestiche nei prossimi anni.

Peraltro, credo che al fondo della questione ci sia un problema più generale: come si fa ad attrarre gli investitori su quelle tipologie d'impianto che, pur essendo meno attrattivi dal loro punto di vista, possono dare un contributo alla risoluzione di criticità ambientali, i cui costi si manifesteranno solo nel lungo termine e che quindi, verosimilmente, resteranno a carico della comunità?

Problema che giustifica, agli occhi della maggioranza, l'incentivazione delle fonti rinnovabili, ma non quello dell'energia nucleare! Eppure, invece che di investimenti a fondo perduto, nel caso degli impianti nucleari basterebbero aiuti di carattere transitorio, come ad esempio la concessione di mutui a lungo termine e a tasso agevolato, che rendano meno problematico investire a lungo termine; Ovvero, come si è deciso di fare negli USA, crediti fiscali che consentano un più rapido ritorno dell'investimento; o ancora, un meccanismo che rifletta nel prezzo dell'energia il "risparmio" che la comunità potrà ottenere dall'utilizzo di fonti pulite, ad esempio sotto forma di crediti di emissione a prezzo minimo garantito.

Anche in questo caso, non credo corretto gridare subito all'aiuto di Stato indebito. Ricordo che sul nucleare, giustamente, gravano i costi di smantellamento finale dell'impianto e di smaltimento delle scorie, in base al principio che ogni fonte deve farsi carico dei costi indiretti che essa genera; perché allora non riconoscere anche i risparmi indiretti che essa genera?

L'ultimo ostacolo istituzionale che mi sembra fondamentale rimuovere è *la chiusura del ciclo e la certezza del suo costo*.

Ho già citato la necessità di risolvere il problema scorie per facilitare l'accettabilità degli impianti nucleari, chiarendo che si tratta di un problema politico e non tecnico.

Esso va risolto, però, anche per consentire una stima certa dei costi nella decisione di investimento. La soluzione del problema scorie non può però essere demandata agli investitori: solo le istituzioni possono prendersene carico, vista la necessità di garantire il pieno controllo di materiali pericolosi nel rispetto dell'ambiente e della sicurezza. Esse dovranno assumere impegni, nei confronti dei potenziali investitori, non solo in termini qualitativi, ma anche quantitativi, individuando una soluzione, ma anche i tempi entro i quali essa sarà implementata. Se ci s'impegna a ritirare i rifiuti ad alta attività, bisognerà chiarire a quale prezzo ed anche entro quando, altrimenti l'investitore dovrà ipotizzare ulteriori costi per lo stoccaggio intermedio.



La terza rivoluzione energetica

Marco Graziano* e Henri Zaccai**

Una crescente domanda energetica, inquietudini sulla sicurezza degli approvvigionamenti, scarsità di risorse naturali, troppe emissioni di gas ad effetto serra: il futuro energetico del pianeta è facile a dirsi... ma difficile a farsi! Il rilancio dei programmi nucleari in diversi paesi è un elemento di risposta. Questa forma di energia permette di rispondere ai crescenti bisogni di elettricità, ridurre la dipendenza dal gas naturale importato e di limitare l'emissioni di CO₂.

1. L'analisi del problema

La crescita della domanda di energia ha bisogno di grossi investimenti in nuove capacità di produzione di elettricità. Sebbene lo sviluppo delle fonti rinnovabili sia necessario per avere energia addizionale, molte sono le ragioni che concorrono alla rinascita del nucleare, tra cui l'impennata dei prezzi dei combustibili fossili, anche se la crisi economica ha fatto crollare le quotazioni del petrolio. Resta comunque il fatto che quest'ultime si sono stabilizzate in media - tra il 1° gennaio e il 1° novembre 2008 - su 103,4 Dollari il barile di Brent contro 72,4 Dollari nel 2007 e 65,1 nel 2006. L'attuale ribasso non può essere dovuto che alle circostanze, visto che le prospettive a medio termine sono strutturalmente al rialzo, a causa del progressivo esaurimento delle risorse. Altro fattore importante: di fronte alla volatilità delle quotazioni dei combustibili fossili, i produttori di elettricità vogliono avere a disposizione un'energia competi-

* Senior Vice-President, Business Development AREVA

** Vice-President, Business Development AREVA

tiva ad un costo prevedibile sul lungo termine. È un altro vantaggio dell'elettronucleare, la cui materia prima, l'uranio, concorre per solo il 5% circa nel prezzo di produzione del chilowattora. Aggiungiamo che anche il costo attribuito alla CO₂ gioca a favore della competitività dell'energia nucleare, che inoltre fornisce garanzie in fatto di sicurezza di approvvigionamento e di indipendenza energetica. Questi vantaggi, caratteristici del ciclo del combustibile nucleare, saranno completati dalla messa in servizio dei primi reattori di terza generazione avanzata.

2. La situazione attuale

A fine 2006, in 31 paesi erano in servizio 438 reattori, che rappresentano circa 371 GW di potenza installata. Alla stessa data, 29 reattori erano in costruzione e 62 già in fase di ordinazione o in progetto. Nel mondo, i reattori ad acqua leggera dominano il mercato. I due grandi tipi di reattori ad acqua leggera sono i reattori ad acqua bollente (BWR) e i reattori ad acqua pressurizzata (PWR). Nei PWR, l'acqua di un circuito primario, a contatto con le guaine del combustibile, è mantenuta sotto forte pressione per evitare l'ebollizione. Il calore recuperato è trasferito ad un circuito d'acqua secondario che produce vapore. Questo fa girare una turbina che trascina l'alternatore producendo elettricità. L'acqua del circuito secondario è condensata, raffreddata e riciclata.

La disponibilità di uranio è relativamente abbondante. Le risorse sono essenzialmente di due ordini. In primo luogo, le risorse identificate, raggruppamento di "risorse ragionevolmente assicurate" e di risorse "stimate", in altre parole i giacimenti scoperti, studiati e correttamente valutati al 1° gennaio 2005 erano calcolati in circa 15 milioni di tonnellate, cioè più di 200 anni di riserva al ritmo di consumo attuale. In secondo luogo, l'OCDE e l'AIEA distinguono an-

che le risorse convenzionali non ancora scoperte (“pronosticate” e/o “speculative”) che sarebbero di 10 milioni di tonnellate. Inoltre, all’inverso della distribuzione disuguale delle risorse di idrocarburi (il 70% delle riserve di petrolio e il 40% di quelle di gas si trovano nel Medio Oriente), la distribuzione relativamente equilibrata delle riserve di uranio nel mondo permette ai gestori di centrali nucleari di essere meno esposti ai rischi geopolitici. I paesi industrializzati dell’OCDE, che sono i principali utilizzatori dell’energia nucleare, possiedono più della metà delle riserve mondiali di uranio, Australia e Canada insieme circa il 40%.

Infine, i costi di produzione dell’energia nucleare si rivelano meno capricciosi di quelli degli idrocarburi, poiché il combustibile rappresenta solo una piccola parte dell’investimento. Infatti, il prezzo del combustibile interviene debolmente nell’equazione economica: dell’ordine del 5% in luogo del 70% per il gas e il 55% per il carbone, secondo l’Università di tecnologia di Lappeenranta (Finlandia). Il modello economico del nucleare si basa su cicli lunghi, potendo raggiungere la durata di vita di una centrale circa 60 anni. Ne risulta una grande prevedibilità dei costi, contrariamente alle energie fossili molto esposte alle fluttuazioni di corso. Così come affermavano i deputati Christian Bataille e Claude Birraux nell’ambito dell’Ufficio parlamentare di valutazione delle scelte scientifiche e tecnologiche “il nucleare è la filiera più competitiva per la produzione di elettricità”.

3. Il nucleare protagonista della terza rivoluzione energetica

Molti paesi considerano la tecnologia nucleare una delle soluzioni per il loro futuro energetico. La lotta contro i cambiamenti climatici, l’indipendenza energetica e la fine dell’“energia facile” sono i motivi principali. Mai, dopo la seconda crisi petroli-

fera, il contesto è stato così favorevole al rilancio del nucleare. A ciò si aggiunge che la maggior parte delle centrali nucleari attualmente in funzione sono state costruite negli anni '70-'80. Malgrado il prolungamento della loro durata di vita, Stati Uniti, Francia, Giappone, Russia e la stessa Germania, che rappresentano assieme più di due terzi della potenza installata in tutto il mondo, si stanno ponendo il problema del rinnovo della maggior parte del loro parco nei prossimi vent'anni. Tenuto conto dei tempi necessari per ottenere le autorizzazioni amministrative ed i permessi di costruire delle centrali, le decisioni sugli investimenti dovranno essere prese rapidamente.

Queste recenti mutazioni del paesaggio energetico convalidano la strategia di AREVA, leader mondiale del nucleare e unico attore di questo settore, di proporre un'offerta integrata che copre l'insieme del ciclo dell'energia nucleare civile.

Nell'ambito di un'offerta integrata AREVA è infatti in grado di offrire sia prodotti che servizi che coprono l'insieme della supply chain, che va dall'uranio al trattamento del combustibile usato, passando, per la progettazione e la costruzione di centrali nucleari. La fornitura del modello EPR a Francia, Finlandia e Cina rappresenta la prima fase di una strategia di ampia portata che punta a fornire nei prossimi anni un terzo dei nuovi reattori. Una sfida che AREVA si appresta a raccogliere basandosi su capacità industriali uniche al mondo.

4. Il ciclo del combustibile nucleare

La filiera nucleare è strutturata dalle varie tappe del ciclo del combustibile. Il combustibile nucleare non è costituito direttamente dal minerale di uranio allo stato naturale. Allo stesso modo in cui non si mette direttamente nel serbatoio della propria automobile il pe-

torio grezzo sgorgato dal pozzo, non è direttamente il minerale di uranio che costituisce il combustibile nucleare: perché i nuclei pesanti possano fornire del calore utile per fissione, devono seguire un ciclo che combina numerose tappe industriali.

Dall'estrazione alla conversione dell'uranio

L'uranio è estratto da miniere a cielo aperto o da gallerie sotterranee. Generalmente, le rocce estratte contengono pochi minerali. La concentrazione di uranio naturale è di un ordine variabile tra lo 0,2% e il 2%, e del 14% in alcune miniere eccezionali in Canada. Sono allora effettuate delle operazioni di concentrazione sull'uranio naturale che è trasformato in ossido di uranio (U_3O_8). Il minerale è macinato poi disciolto nell'acido solforico per ottenere una polvere gialla, chiamata yellow cake (o uranio concentrato), che contiene in media l'80% di uranio. Allo stadio di yellow cake, l'uranio è ancora lontano dal poter essere utilizzato in un reattore nucleare. Deve dunque essere purificato in occasione di operazioni di conversione dell'uranio in esafluoruro di uranio (UF_6)¹.

Poco nota al grande pubblico, la conversione dell'uranio in esafluoruro è una tappa chiave nel ciclo di produzione nucleare tra l'attività mineraria e l'arricchimento. AREVA, leader mondiale in questo settore con il 26% di quota di mercato, nel 2007 ha preso la decisione di investire nel completo rinnovamento del suo strumento di produzione. Per assicurare al mercato che ci sarà in futuro un fornitore dotato di uno strumento industriale moderno ed efficiente, AREVA ha deciso di investire 450 milioni di euro per costruire la

¹ AREVA è uno dei principali attori della produzione di uranio con il 13% di quota di mercato e il 20% delle vendite. Nel 2007, il portafoglio ordini del gruppo si è alzato del 33% a 88.000 tonnellate di uranio. Il 60% di questo volume sarà consegnato dopo il 2012. Per dare la certezza ai propri clienti che disporranno sempre del combustibile necessario, AREVA si è lanciata in una politica dinamica di accesso a nuove risorse (UraMin, Imouraren...).

fabbrica Comurhex II sui siti di Malvési (Aude) e del Tricastin (Drôme). Il cantiere è iniziato nell'estate 2007 e la produzione industriale è prevista nel 2012.

5. L'arricchimento dell'uranio e la fabbricazione del combustibile

L'uranio è l'elemento chimico naturale più pesante della terra, con 92 protoni nel suo nucleo. L'uranio naturale è una miscela di due isotopi: l'U238 e l'U235 nelle proporzioni rispettive del 99,3% e dello 0,7%. Solo l'uranio 235 subisce agevolmente il fenomeno della fissione all'origine della produzione di energia nel cuore del reattore nucleare. Per funzionare, i reattori ad acqua (tecnologia impiegata per l'85% dei reattori nel mondo) richiedono un uranio più ricco di U235. L'arricchimento consiste quindi nell'aumentare la proporzione di U235 fino ad un valore compreso tra il 3 e il 5%. Un reattore ad acqua pressurizzata di 900 MWe consuma circa 27 tonnellate di uranio arricchito all'anno, un tonnellaggio estratto di 150 tonnellate di uranio naturale. Per assicurare la produzione elettronucleare francese, nei 58 reattori sono caricati annualmente circa 1.200 tonnellate di combustibili nuovi, che richiedono l'estrazione di circa 8.200 tonnellate di uranio naturale.

Nel mondo sono usate due tecniche di arricchimento: la diffusione gassosa e l'ultracentrifugazione. In Francia, dal 1978, si utilizza la tecnologia della diffusione gassosa, ma questo procedimento è penalizzato per il suo forte consumo di elettricità. AREVA ha deciso di dotarsi della tecnologia dell'ultracentrifugazione che consuma circa 50 volte meno elettricità. La prima produzione è attesa nel secondo semestre 2009 nella fabbrica Georges Besse II.

L'uranio, che è stato arricchito sotto forma gassosa (UF_6), è trasformato sotto forma solida (UO_2) in pastiglie che sono introdotte in lunghi tubi metallici per formare delle barrette, che sono a loro volta riunite e mantenute usando griglie per formare un assemblaggio. Questi assemblaggi sono messi all'interno della vasca del reattore, fianco a fianco, secondo una disposizione generalmente cilindrica. Formano così il cuore del reattore. In media, bisogna calcolare circa due anni tra l'estrazione del minerale e l'introduzione del combustibile nel cuore del reattore.

6. Un'energia riciclabile

In un reattore, gli assemblaggi di combustibili liberano dell'energia grazie alla fissione dei nuclei di atomi. Nel corso del tempo, la proporzione di atomi fissili si riduce mentre la quantità di prodotti di fissione aumenta. Il combustibile diventa sempre meno reattivo e finisce per non produrre più energia: quando è esaurito, deve essere sostituito da combustibile nuovo.

All'uscita dal reattore, il combustibile esaurito resta molto radioattivo e sprigiona calore (la sua temperatura supera $100^\circ C$). Il combustibile esaurito deve allora essere depositato per circa due anni nella piscina del combustibile perché la sua temperatura e la sua radioattività diminuiscano. In seguito, il trattamento del combustibile esaurito consiste nel separare le materie valorizzabili (uranio e plutonio) dei rifiuti finali che saranno condizionati. Su 100 kg di combustibili esauriti, si recuperano così circa 96 kg di uranio, 1 kg di plutonio, mentre il resto è costituito da prodotti di fissione e dagli attinidi minori (queste ultime due categorie costituiscono i rifiuti finali che saranno vetrificati).

Una parte dell'uranio proveniente dal trattamento dei combustibili esauriti è riciclata sotto forma di combustibile, il resto è de-

positato. Il plutonio permette di fabbricare un altro tipo di combustibile: il MOX², miscela di ossidi di uranio e di plutonio.

Queste operazioni di trattamento e di riciclaggio permettono di ridurre il volume e la radiotossicità dei combustibili esauriti e aumentano l'indipendenza energetica dei paesi che vi fanno ricorso valorizzando il potenziale energetico delle materie (uranio e plutonio) ed evitando in parte di utilizzare nuove risorse di uranio³. Il mercato dell'uranio ha conosciuto delle tensioni crescenti con un'offerta che aumentava meno rapidamente della domanda. Il rincaro del prezzo dell'uranio ha portato alcuni paesi ad impegnarsi o, perlomeno, a riflettere sulle possibilità di trattare e di riciclare il combustibile.

Con il 90% della produzione mondiale nel 2007, AREVA è il leader incontestato del riciclaggio del combustibile nucleare usato. L'esempio francese, già recepito in Giappone che, dal 2005, dispone di uno stabilimento quasi identico a quello dell'Aja, sarà riprodotto negli anni a venire. Gli Stati Uniti e la Cina, a loro volta, han-

² In un reattore alimentato in uranio debolmente arricchito, il plutonio è un sotto-prodotto obbligatorio della fissione. Responsabile della parte essenziale della tossicità del combustibile esaurito, il plutonio contiene molta energia potenziale. Il combustibile MOX (Mixed Oxyde fuel) è una miscela di circa il 93% di polvere di uranio impoverito e del 7% di polvere di ossido di plutonio. In Francia, 20 reattori di 900MW sui 28 sfruttati di questa potenza funzionano con un cuore caricato al 30% di combustibile MOX. Esistono due stabilimenti di fabbricazione nel mondo: lo stabilimento MELOX d'AREVA a Marcoule e quello di Sellafield in Gran Bretagna gestito da BNFL/BNG. In Giappone è in progetto la costruzione di uno stabilimento a Rokkasho-Mura.

³ Per rimediare alla scarsa valorizzazione dell'uranio naturale attraverso i reattori ad acqua leggera, un primo miglioramento consiste nell'aumentare la combustione dei combustibili ("burn up"): questo porta a lasciarli più a lungo nel reattore. Il ritrattamento, permettendo di riciclare il plutonio sotto forma di combustibile MOX apporta una seconda risposta. L'utilizzo ottimale dell'uranio naturale passa però attraverso la realizzazione di reattori a neutroni rapidi. Questi si caratterizzano infatti per un migliore tasso di conversione dell'uranio 238 fertile in plutonio 239 fissile, al punto di permettere di consumare l'uranio 238 nella quasi totalità. Di conseguenza, le riserve di uranio sarebbero moltiplicate da un fattore che varia tra 50 e 80 a seconda dei casi.

no lanciato nel 2007 dei progetti di costruzione di uno stabilimento di riciclaggio sul loro territorio.

7. Cosa fare dei rifiuti?

Sul futuro dei combustibili esauriti si contrappongono due strategie: considerarli come dei rifiuti finali (è l'opzione scelta, per esempio, da Svezia, Finlandia, Spagna e Canada), in questo caso, si parla di gestione a ciclo aperto, o trattarli per recuperarne le materie riciclabili (il 96% dei combustibili usati), si tratta allora di ciclo chiuso. La Francia e altri paesi, come il Giappone, il Regno Unito, la Russia o la Cina, trattano i loro combustibili esauriti. Gli Stati Uniti vi avevano rinunciato 25 anni fa ma vi stanno nuovamente interessando.

In Francia, delle soluzioni definitive sono già operative per i rifiuti radioattivi a bassissima attività e a bassa o media attività a vita breve, che rappresentano il 90% del volume totale dei rifiuti radioattivi prodotti. Sono stoccati in superficie in due centri situati nell'Aube (Champagne-Ardenne) e nella Manica. Tra la tappa di estrazione del minerale d'uranio e lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi, trascorrono vari decenni.

Oggi, in Francia, il dibattito verte essenzialmente sulla gestione a lungo termine dei rifiuti a vita lunga, altamente radioattivi e non riciclabili. Sono costituiti da guaine che circondano il combustibile, dai combustibili esauriti quando non sono ritrattati e dai prodotti di fissione. La legge del 28 giugno 2006 precisa che le tre vie di ricerca previste dalla legge "Bataille" del 1991 sono complementari, ma indica che lo stoccaggio reversibile in formazione geologica profonda è la soluzione di riferimento. Si prevede che venga votata una nuova legge al più tardi nel 2015 per definire le condizioni della reversibilità. Pur privilegiando lo stoccaggio geologico pro-

fondo, la legge del 2006 prevede di esaminare in modo più approfondito le altre due vie possibili: l'immagazzinamento dei rifiuti in superficie e sub-superficie, e la diminuzione della loro radioattività attraverso la separazione-trasmutazione⁴.

8. La produzione elettronucleare

Oggi, i quattro reattori EPR^{TM5} - con potenza di 1.600 megawatt - di Finlandia, Cina e Francia sono i soli a potersi dire di “terza generazione plus” attualmente in costruzione nel mondo. Le condizioni particolarmente difficili nelle quali si sta realizzando la costruzione dell'EPRTM finlandese per il fornitore di elettricità TVO, offrono al gruppo un feedback di esperienza senza pari e riconosciuto dai grandi fornitori mondiali di elettricità, il che gli permette di conservare una buona lunghezza di vantaggio sui suoi concorrenti. Questa posizione autorizza AREVA a nutrire l'ambizione di riuscire a costruire un terzo delle nuove capacità mondiali per il 2030.

AREVA è candidata alla costruzione di reattori negli Stati Uni-

⁴ Lo scopo della separazione è di recuperare, da una parte, gli attinidi minori (gli attinidi sono degli elementi radioattivi che traggono il loro nome da un metallo pesante, l'attinio, poiché possiedono delle proprietà chimiche vicine), e, dall'altra, i prodotti di fissione. La trasmutazione consiste in un bombardamento neutronico dei nuclei pesanti di attinidi minori, che fissionano producendo due nuclei più leggeri.

⁵ Dopo il primo EPRTM commissionato nel 2003 dal fornitore di elettricità finlandese TVO alla fine di una gara d'appalto molto combattuta, il 2007 è stato un anno positivo per il reattore di AREVA grazie alla commessa della francese EDF a gennaio per la centrale di Flamanville e la firma a novembre del contratto di forniture di due EPRTM alla Cina, nel quadro di un contratto dalla cifra record di 8 miliardi di Euro. AREVA ha così potuto registrare la sua 100^a commessa di reattori, confermando la sua posizione di leader mondiale. In Finlandia, la durata della costruzione dell'EPRTM sarà pari a quella della precedente generazione, dato che si tratta di un impianto pilota e che il cantiere viene realizzato in condizioni particolarmente difficili, tenuto conto soprattutto del processo di lavoro del cliente TVO.

ti, Gran Bretagna, Cina, India, Emirati Arabi Uniti. Altri possibili paesi sono il Canada e, più a lungo termine, l'Italia o il Marocco, per citare solo quelli che hanno manifestato il loro interesse verso la tecnologia del gruppo.

Negli Stati Uniti, dove dovrà essere rinnovato, e probabilmente esteso, il più grande parco nucleare del mondo, AREVA, diventato il primo industriale americano del settore, nutre legittime ambizioni. Il gruppo ha creato con il fornitore di elettricità Constellation Energy una joint-venture, la UniStar Nuclear, in modo da promuovere, far certificare e costruire l'EPR™ negli Stati Uniti. Il fascicolo di certificazione dell'US-EPR™ è stato consegnato a dicembre 2007 alla NRC, l'autorità statunitense per la sicurezza delle installazioni nucleari. Fino ad ora, cinque grandi fornitori americani di energia elettrica hanno manifestato il loro interesse verso la tecnologia EPR™. Per parte sua, Constellation ha inoltrato la commessa per il progetto dettagliato delle reattore.

In Europa, la Gran Bretagna si è lanciata in un programma di rilancio del nucleare su larga scala. Posseduto come tecnologia esclusiva da EDF e E.ON, sostenuto da una decina di altri grandi fornitori di elettricità per i loro progetti inglesi, l'EPR™ di AREVA è in fase di pre-certificazione in questo paese.

Partner di lunga data della Cina, dove di recente ha creato una nuova joint-venture nel settore dell'ingegneria, il gruppo AREVA si trova ben piazzato per accompagnare il paese nel suo obiettivo di triplicare la capacità di produzione nucleare per il 2020 e di decuplicarla per il 2030. In India, il cui governo vuole dotare il paese di 40.000 megawatt di capacità installata supplementare nel corso del prossimo decennio, ovvero l'equivalente di 25-30 reattori, l'Agenzia atomica indiana ha preselezionato AREVA dopo aver ricevuto il segnale di OK dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica. Questa decisione ha fatto seguito agli accordi conclusi tra India e Francia e poi con gli Stati Uniti. La rinascita del nucleare non tocca so-

lo i paesi abituati a questa tecnologia⁶. Tra gli inediti pretendenti, sempre più numerosi e dalla provenienza più diversa, ci sono gli Emirati Arabi Uniti, che si apprestano a lanciare una gara d'appalto. Per rispondervi, AREVA si è associata a Total ed a Suez per presentare una soluzione integrata che comprenda la fornitura di impianti EPR™ abbinati ai prodotti, servizi e know-how necessari al loro funzionamento.

Per essere in grado di rispondere alla domanda del mercato, AREVA persegue un programma di assunzioni molto dinamico, con l'ingresso nel gruppo di circa 1000 persone in media ogni mese ed approva grossi investimenti nel suo strumento industriale. Nel polo reattori e servizi, lo stabilimento francese di Chalon Saint-Marcel nella Saône-et-Loire, dove vengono costruiti i componenti pesanti dei reattori (generatori di vapore, vasche, ecc.) è uno dei maggiori beneficiari. L'acquisizione di Sfarsteel, produttore di pezzi forgiati di grandissime dimensioni di Creusot, segue la stessa strategia di rafforzamento della capacità industriale del gruppo e della sicurezza della sua catena di approvvigionamento.

Negli Stati Uniti, per servire il mercato americano, AREVA e Northrop Grumman hanno annunciato l'ottobre scorso la costruzione di un impianto di componenti nucleari pesanti di circa 28.000 m² a Newport News (Virginia), che prevede la creazione di oltre 500

⁶I bisogni dei paesi candidati all'energia nucleare non sono omogenei. Per soddisfarli, AREVA ha sviluppato una gamma di reattori. Il gruppo, assieme a Mitsubishi Heavy Industries (MHI), ha creato alla fine del 2007 ATMEA, una joint-venture per la progettazione di un reattore ad acqua pressurizzata di "generazione 3+", con una potenza di 1.100 megawatt. Questo reattore, battezzato ATMEA 1, sarà dotato di sistemi di sicurezza e protezione avanzati, avrà un rendimento termico elevato ed un ciclo di funzionamento flessibile. Economico, permetterà la diminuzione dei costi e dell'impatto ambientale attraverso la riduzione del volume degli scarti. Parallelamente, AREVA prosegue lo sviluppo dello SWR 1000, un reattore ad acqua bollente con una potenza dell'ordine di 1.200 megawatt assieme al fornitore di elettricità tedesco E.ON.

posti di lavoro qualificati a termine. Nel Regno Unito, questa strategia si è tradotta con la conclusione, a dicembre del 2008, di un accordo di partnership con i gruppi inglesi Balfour-Beatty e Rolls-Royce riguardante l'ingegneria, la produzione e la costruzione delle centrali.

Il moltiplicarsi dei progetti di nuove centrali ha modificato il dato del mercato, passato da una situazione di offerta ad una di domanda. Continuando una strategia allo stesso tempo d'attacco e realista, il gruppo AREVA è ben deciso a confermare i suoi tanti punti forti per rimanere il protagonista di riferimento del mercato internazionale dell'energia nucleare.



Il rinascimento nucleare negli USA e l'AP 1000

Paolo Gaio*

Se si parla oggi di rinascimento nucleare, ovviamente significa che si è attraversato un periodo "buio", una specie di medio evo dell'energia nucleare. È vero infatti che negli ultimi 30 anni, tranne che in Giappone ed in Corea, praticamente non si sono costruite nuove centrali ed addirittura in alcuni paesi, come in Italia, si sono chiuse quelle già funzionanti e in altri si è programmato di chiuderle.

1. Il rinascimento nucleare negli USA

Se si parla oggi di rinascimento nucleare, ovviamente significa che si è attraversato un periodo "buio", una specie di medio evo dell'energia nucleare.

È vero infatti che negli ultimi 30 anni, tranne che in Giappone ed in Corea, praticamente non si sono costruite nuove centrali ed addirittura in alcuni paesi, come in Italia, si sono chiuse quelle già funzionanti e in altri si è programmato di chiuderle.

Gli USA non hanno fatto eccezione: l'ultimo ordine per una nuova centrale è stato fatto nel 1978 e ci sono voluti esattamente 30 anni prima che l'8 aprile del 2008 Georgia Power ordinasse alla Westinghouse due AP 1000, seguita poche settimane dopo da South Carolina Gas & Electric che ha ordinato altri due reattori dello stesso tipo e poi da Progress Energy che ha inviato a Westinghouse nel maggio 2008 una lettera di intenzione per altri due AP 1000 ed ha

* Westinghouse Europe

richiesto di procurare i componenti di lungo periodo di fabbricazione (long lead items).

In realtà però il “periodo buio” in USA non è stato poi così... buio.

In effetti l'industria nucleare americana in questi 30 anni ha subito una profonda e straordinaria trasformazione che ha preparato il terreno per la sua rinascita.

Cosa è accaduto? È accaduto che il fattore di capacità delle 104 centrali in operazione è aumentato in questi 30 anni dal 50 al 91.8%, che è stata aumentata la potenza di varie centrali per un totale di 5,200 Mwe e che altri 2,600 Mwe di aumento sono già programmati (come se si fossero costruite altre 8 nuove centrali da 1000 Mwe), che la centrale di Brownsferry chiusa nel 1985 è stata modernizzata e riattivata nel 2007, che si sta terminando la centrale di Watts Barr la cui costruzione fu interrotta, con 80% già completato, nel 1980 a seguito delle proteste degli ambientalisti e, infine, che per la gran parte delle centrali in operazione si è approvata o si approverà un allungamento della vita da 40 a 60 anni.

Gli effetti economici sono stati straordinari: il costo di produzione del MWh è sceso nel 2007 a \$ 16,8 (corrispondente ad un costo totale – busbar - di \$22-23/MWh) che, confrontato con prezzi praticati nei mercati americani varianti fra i 50 e i 70 \$/MWh, corrisponde a profitti per le società operatrici che vanno dal 200% al 300%!.

Ma gli esempi ancora più significativi che dimostrano il mutamento in efficienza e capacità dell'industria nucleare americana in vista della costruzione di nuove impianti, sono stati il progetto di Brownsferry praticamente altrettanto complesso quanto la costruzione di una nuova centrale (quasi tutti i sistemi sono stati sostituiti o modificati), durato 5 anni per un costo di \$1,834 miliardi, che è stato completato nei tempi e nel budget previsto, e il progetto di Fort Calhoun dove sono stati sostituiti in un unico periodo di rica-

rica tutti i componenti maggiori (generatori di vapore, coperchio del vessel, pressurizzatore, turbine, trasformatori...) per un costo previsto di \$417 milioni, e che è terminato 5 giorni in anticipo e \$40 million al disotto del budget previsto.

Insomma, una differenza enorme fra l'industria di ieri e quella che oggi fa funzionare e mantiene le 104 centrali già in operazione e che è la stessa che costruirà le nuove centrali.

2. AP 1000: da dove viene

Due fatti importanti sono avvenuti negli anni '80 - in pieno "periodo buio" - che hanno incoraggiato i progettisti a lavorare su nuove centrali facendo balenare una luce in fondo al tunnel.

Uno: l'NRC ha modificato il processo di licensing rimuovendo le incertezze della data di operazione prevedendo la concessione simultanea - entro certe condizioni - della licenza di costruzione e di operazione (COL - Combined Construction and Operating License). Con questo nuovo processo al momento dell'inizio della costruzione, la società operatrice ha la sicurezza che l'impianto potrà iniziare a produrre energia una volta terminato senza il timore di pubblici interventi volti a ritardarne la messa in funzione come, ahimè, succedeva con il precedente sistema di licensing.

Due: gli operatori americani hanno prodotto, sotto la direzione dell'EPRI (Electrical Power Research Institute) e appoggiati dall'NRC, un documento chiamato "Advanced Light Water Reactor Utility Requirements Document (UDR)" che specifica i requisiti richiesti per le centrali di nuova generazione (una specie di dettagliata Specifica Tecnica), sia per i reattori di tipo evolutivo (evolutionary), detti anche di Generazione 3 che passivo (revolutionary), Generazione 3+.

Per i reattori di tipo **passivo** le aspettative sono assai più elevate: si richiede infatti di mantenere il reattore in condizioni di sicu-

rezza dopo un incidente (safe shutdown), per 72 ore senza intervento dell'operatore, contro i 30 minuti richiesti ad un reattore di tipo evolutivo, quindi un grado superiore di sicurezza.

Al reattore di tipo passivo si richiede inoltre di essere più semplice ed avere una taglia minore a parità di potenza.

In definitiva la richiesta è quella di operare un vero salto, uno "step quantico", nella evoluzione della tecnologia nucleare.

3. Il sistema di sicurezza passivo: AP 1000

È alla progettazione di questo il tipo reattore che la Westinghouse ha lavorato con successo per quasi 20 anni impiegando più di 1,300 anni-uomo, prima per un reattore di potenza di 600 Mwe (AP 600), poi aumentandone la taglia a 1100 Mwe (AP 1000).

Un concetto nuovo ed appunto rivoluzionario del sistema di sicurezza.

Concetto che è stato convalidato da tests fatti su modelli a grandezza intera e ridotta, che simulavano il comportamento di componenti separatamente e dell'intero sistema, effettuati all'Oregon State University, in Italia (ENEA e Ansaldo) ed in Giappone. Tests che hanno convalidato codici di calcolo ed hanno provato la fattibilità della sicurezza passiva.

Anche l'NRC ha effettuato separatamente ed indipendentemente tests di conferma del sistema di sicurezza passivo dell'AP 1000, spendendo più di 110 uomini-anno e ponendo più di 7,400 domande scritte prima di arrivare a certificare, nel Dicembre del 2005, la tecnologia dell'AP 1000.

Senza alcun dubbio si può dire che l'AP 1000 è il reattore più provato nella storia dell'energia nucleare.

Ma cos'è questo "rivoluzionario" sistema di sicurezza passiva?

Partiamo dal concetto di base di sicurezza: durante un incident-

te per evitare il meltdown del combustibile ed il rilascio di radioattività, le due funzioni a cui si deve provvedere sono: uno, che il combustibile rimanga sempre coperto di acqua tramite l'intervento dei sistemi di iniezione di sicurezza (safety injection systems) e, due, che il calore residuo venga rimosso (decay heat removal system) e trasferito ad un "ultimate heat sink". Tradizionalmente queste funzioni vengono compiute da sistemi attivi come pompe, valvole, sistemi di ventilazione, che vengono messi in funzione dagli operatori della centrale.

Il sistema passivo invece, al posto di questi sistemi attivi, utilizza fenomeni naturali come la gravità, la trasmissione di calore per conduzione, convezione ed evaporazione, la pressione dei gas ecc..

In pratica una ventina di valvole allineano appositi contenitori di acqua borata e scambiatori di calore sufficienti a compiere le due funzioni necessarie in caso di incidente, senza bisogno di uso di sistemi attivi. Le valvole sono attuate automaticamente e sono in gran parte di tipo fail-safe ed alimentate da batterie (energia immagazzinata): non c'è quindi necessità di produzione di corrente alternata e quindi neppure di diesel che la generino.

Quindi mentre il sistema tradizionale di sicurezza raggiunge il suo obiettivo *aggiungendo* sistemi rindondanti:

- 4 treni di iniezione di sicurezza, ognuno composto di pompe, valvole, scambiatori di calore
- 4 treni di sistema di rimozione di calore di decadimento, anch'esso composto di pompe, valvole, scambiatori di calore
a cui si aggiungono:
- 4 treni di raffreddamento del contenitore
- 4 treni di generatori diesel

(tutti sistemi previsti per funzionare solo in caso di incidente), il sistema passivo raggiunge invece il suo obiettivo *riducendo* i sistemi attivi di sicurezza:

- nessuna pompa con funzioni di sicurezza

- nessun ventilatore di sicurezza
- nessun diesel di sicurezza
- nessun sistema AC di sicurezza
- un piccolo numero di valvole che attuano il sistema di sicurezza passivo
- le leggi naturali provvedono alla sicurezza

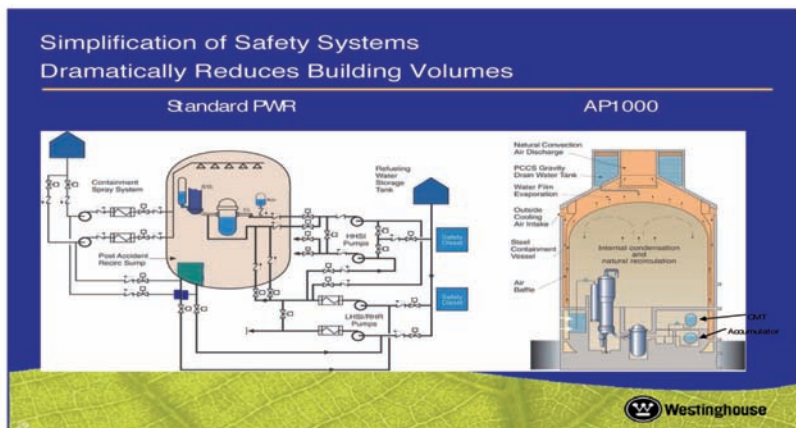


Figura 1

Insomma per fare un'analogia... aeronautica, se su un aereo si applicassero gli stessi concetti di sicurezza di una centrale nucleare, secondo il sistema di sicurezza tradizionale l'aereo dovrebbe essere fornito di motori di riserva, previsti per essere utilizzati solo in caso di incidente (possibilmente mai!) che il pilota metterebbe in funzione in caso di avaria dei motori di normale funzionamento. Il sistema di sicurezza passivo, invece, prevederebbe, invece dei motori di riserva, un aereo progettato con una apertura ed una configurazione alare tali che in caso di avaria dei motori l'aereo planerebbe senza bisogno di motori ed intervento del pilota.

4. Semplicità

L'immediata conseguenza della riduzione dei sistemi di sicurezza quindi è anche una drammatica riduzione dei volumi della centrale in genere ed in particolare degli edifici sismici ove alloggiavano i sistemi di sicurezza.

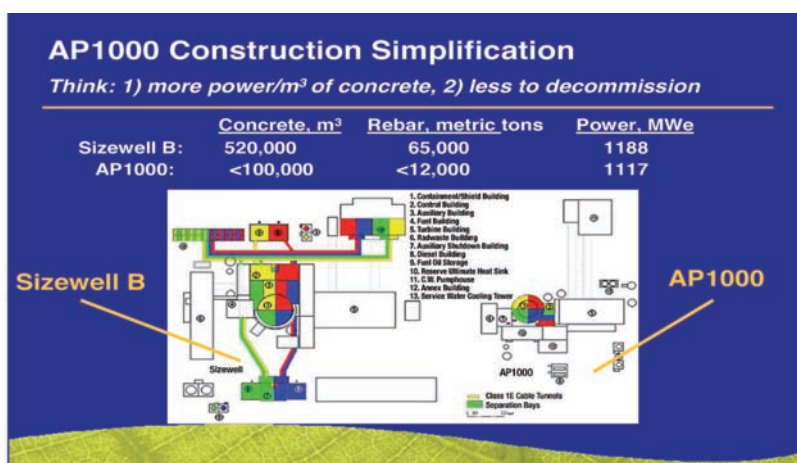


Figura 2

La figura 2. illustra chiaramente la differenza volumetrica fra una centrale della Generazione 2 (in questo caso Sizewell) e l'AP 1000 che hanno potenze equivalenti.

A Sizewell sono stati utilizzati 500,000 m³ di cemento e 65,000 metri di barre di ferro. Per l'AP 1000 saranno necessari rispettivamente 100,000 m³ e meno di 12,000 metri, oltretutto assai meno materiale da gestire in fase di decommissioning.

Un'altra caratteristica fondamentale dell'AP 1000 è l'utilizzazione del sistema modulare in fase di costruzione, concetto già ampiamente utilizzato nell'industria navale. Gran parte della centrale è in-

fatti scomposta in moduli: 122 strutturali, 11 elettrici, 154 di tubazioni e 55 di sistemi meccanici. I moduli vengono costruiti in fabbrica e poi portati sul sito dove vengono assemblati, ottenendo così il duplice vantaggio di ridurre il tempo totale di costruzione della centrale potendo lavorare in parallelo in fabbrica e in cantiere e di poter assemblare e provare i componenti in ambienti con più facile controllo di sicurezza (fabbrica piuttosto che cantiere).

Un'ulteriore particolarità che deriva dalla riduzione dei sistemi passivi è che più dell'80% dei componenti della centrale non sono di natura "safety" quindi non devono essere costruiti secondo criteri speciali di resistenza a radiazione, calore, pressione e possono essere quindi essere forniti da industrie convenzionali eventualmente locali, se pure di alta qualità, con possibilità di allargamento della scelta dei fornitori e conseguente riduzione dei costi.

5. AP 1000 in costruzione

Attualmente ci sono quattro centrali AP 1000 in costruzione in Cina sui siti di Haiyang e Sanamen: la prima unità è prevista entrare in operazione nel 2013 e le altre seguiranno nel 2014 e 2015: il periodo di costruzione di una centrale AP 1000 è di 48 mesi.

Come si è detto negli Stati Uniti quattro AP 1000 sono già stati ordinati con la prima unità (Vogtle) prevista in operazione per il 2016.

Negli USA, inoltre, delle 34 centrali già annunciate dagli operatori, 14 sono di tipo AP 1000.

6. AP 1000 in Europa

Come detto la tecnologia AP 1000 è stata sviluppata seguendo principalmente le richieste degli operatori statunitensi.

In Europa nel 1991 cinque operatori maggiori, a cui se ne sono poi aggiunti altre sei, hanno a loro volta lanciato un programma simile a quello americano definendo le specifiche richieste ai reattori Light Water con lo scopo di armonizzare l'approccio alla sicurezza, la standardizzazione, l'obiettivo del progetto e le specifiche dei componenti.

Il risultato è contenuto nel documento "European Utility Requirements (EUR)" equivalente all'UDR americano.

Nel Maggio del 2007, a conclusione di un grande lavoro di dettagliato confronto fra il progetto AP 1000 e le specifiche EUR, lavoro che ha richiesto l'analisi di più di 5000 requisiti, l'AP 1000 è stato ufficialmente certificato compatibile con le specifiche contenute nell'EUR.

Nel frattempo l'AP 1000 è analizzato dall'agenzia di sicurezza inglese per ottenere la licenza di costruzione in quel paese, analisi che si prevede terminerà nel 2010.

Si può concludere che la tecnologia innovativa dell'AP 1000 guida la rinascita nucleare, e non solo negli Stati Uniti!



L'impegno nucleare di EDF in Francia e nel mondo

Bruno D'Onghia*

In Italia il nucleare, dopo 20 anni di "damnatio memoriae" è un argomento tornato di grande attualità. Da vecchio nucleare non pentito, non posso che guardare con favore e interesse a questa prospettiva, nei riguardi della quale mi sembra tuttavia utile fare alcune considerazioni generali, basate anche sull'esperienza francese passata e presente.

1. Il programma nucleare francese. Le ragioni di un successo

Prima di parlare del futuro, ritengo utile richiamare le caratteristiche salienti del programma di costruzione degli impianti nucleari attualmente in esercizio in Francia. Gran parte dei fattori alla base di quello che può essere considerato un indubbio successo industriale, restano a mio avviso pienamente validi anche per il futuro, e vanno pertanto tenuti ben presenti quando si dibatte del rilancio del nucleare nel nostro Paese, dopo una "moratoria" durata 20 anni.

Il parco nucleare di EDF in Francia è costituito da 58 unità, per un totale di 63 GW, distribuiti su 19 siti. I reattori appartengono tutti alla stessa tecnologia PWR e sono stati realizzati da un unico fornitore (Framatome), in tre serie: 34 unità da 900 MW per un totale di 31 GW; 20 unità da 1300 MW per un totale di 26 GW e 4 unità da 1500 MW per 6 GW. Quest'ultimo tipo di reattore (N4) può essere considerato il precursore diretto dell'EPR di cui si parlerà in seguito.

La decisione di lanciare un programma nucleare di grande por-

* Direttore di EDF Italia

tata fu presa dal governo francese nell'estate del 1974 alla luce delle conseguenze del primo shock petrolifero, con l'obiettivo di raggiungere il più rapidamente possibile sicurezza di approvvigionamento e indipendenza energetica, oltre a garantire al paese costi dell'energia contenuti e stabili nel tempo. Il programma fu perseguito in modo estremamente determinato: il grosso degli impianti fu messo in esercizio nel giro di 10 anni, tra il 1980 e il 1990. La cadenza media di avviamento dei nuovi impianti in tale decennio fu quindi di 4-5 unità/anno, con un picco nel 1983, quando furono messi in servizio 8 reattori. Un poderoso impegno industriale e finanziario, al cui successo hanno contribuito in maniera determinante i seguenti fattori:

- una strategia energetica chiara e lungimirante, sostenuta da una volontà politica forte e stabile nel tempo. Dal 1974 ad oggi, si sono succeduti in Francia molti governi e molte maggioranze politiche, ma l'opzione nucleare non è stata mai rimessa in discussione né ha subito modifiche sostanziali.
- un contesto industriale "forte": EDF come committente, architetto industriale e esercente delle centrali; Framatome come fornitore dell'isola nucleare; COGEMA come gestore del ciclo del combustibile a monte e a valle; il CEA responsabile della ricerca e sviluppo; un'autorità di sicurezza molto competente ma con una sana dote di pragmatismo.
- un "effetto serie" giocato a fondo, grazie a un parco standardizzato, una cadenza di costruzione elevata, dei siti multi-unità, con effetti molto positivi sui costi di investimento (sviluppo, ingegneria, costruzione, ecc), sui tempi di autorizzazione e di costruzione, sui costi di esercizio e manutenzione e, non da ultimo, sulla sicurezza.

2. E domani? Le strategie di EDF

Le attuali strategie di EDF nel campo nucleare perseguono due obiettivi complementari:

- da un lato, estendere la durata di vita degli impianti attualmente in funzione, o almeno di una parte di essi, oltre i 40 anni inizialmente previsti. Va ricordato al riguardo che negli Stati Uniti alcune licenze di esercizio sono già state prolungate a 60 anni e che praticamente tutti i paesi che dispongono di un parco nucleare stanno lavorando nella stessa direzione. Un obiettivo di questo tipo implica ovviamente un'elevata qualità di O&M e un "safety reassessment process" molto rigoroso, a cadenza decennale, con la realizzazione degli interventi di ispezione – riparazione – sostituzione dei componenti critici e l'adozione delle migliorie economicamente accettabili. Va anche perseguito in parallelo un aumento del fattore di disponibilità e delle prestazioni del combustibile.
- dall'altro, essere pronti a lanciare a metà del prossimo decennio un nuovo programma nucleare di grande portata, basato su un reattore di nuova generazione, qualora il quadro energetico e ambientale lo rendesse necessario. In effetti, a partire dal 2015, i più vecchi tra i reattori attualmente in esercizio cominceranno a raggiungere i 40 anni di funzionamento e quindi, per quelli la cui durata di vita non dovesse essere prolungata, si porrà il problema della sostituzione. A ciò vanno aggiunte le incertezze legate alla sicurezza di approvvigionamento ed ai prezzi degli idrocarburi e le problematiche connesse ai cambiamenti climatici che potrebbero comportare la necessità di sostituire a tappe forzate le fonti fossili con altre caratterizzate da emissioni di gas climalteranti basse o nulle. Il tutto in un contesto energetico mondiale caratterizzato dal perdurare di un forte aumento della domanda.

In vista di tale scadenza, l'industria nucleare francese e tedesca hanno messo a punto un nuovo progetto di impianto nucleare definito EPR-European Pressurized Reactor, che EDF ha ritenuto opportuno validare attraverso la costruzione e l'esercizio di una centrale "testa di serie". L'obiettivo è di disporre, in vista dell'eventuale lancio di un nuovo programma nucleare di grande portata all'orizzonte 2015, come sopra accennato, di una soluzione industrialmente provata, tanto sul piano della costruzione che per quanto riguarda l'esercizio.

L'EPR appartiene alla Generazione III della tecnologia nucleare e raccoglie l'eredità del progetto N4 francese e del Konvoi tedesco, rispetto ai quali incorpora notevoli migliorie in materia di sicurezza, di prestazioni tecniche e economiche, di compatibilità ambientale:

- per quanto riguarda la sicurezza, vale la pena di menzionare la presenza di un edificio reattore a doppia parete, capace di resistere all'impatto di un aereo di linea e una maggiore ridondanza dei principali sistemi di sicurezza organizzati su quattro treni indipendenti,.
- le prestazioni tecniche prevedono una potenza unitaria di 1650 MW, una durata di vita di 60 anni e un fattore di disponibilità superiore al 90%
- infine, rispetto ai reattori attualmente in esercizio, è previsto un tasso di irraggiamento del combustibile di circa 30 % superiore e quindi un minor consumo di materia fissile, una minore produzione di rifiuti ad alta attività per MWh e quindi un minore costo del ciclo di combustibile.

La decisione di realizzare la "testa di serie" dell'EPR sul sito di Flamanville, accanto alle due unità da 1300 MW in esercizio, è stata presa da EDF nel 2004. L'iter autorizzativo e la predisposizione delle specifiche tecniche e dei documenti contrattuali sono stati con-

dotti nel 2005 e 2006. Il cantiere è stato aperto nel gennaio 2007 e l'avviamento dell'impianto è previsto a fine 2012. Pertanto, la decisione di lanciare una serie a metà del prossimo decennio potrà essere presa anche con il conforto dei risultati di Flamanville 3, senza dimenticare il ritorno di esperienza dell'impianto EPR in corso di costruzione in Finlandia. Se una tale decisione sarà presa nel 2015, le unità della nuova serie entreranno in servizio a partire dal 2020, andando a sostituire quelle attualmente in esercizio che dovessero essere definitivamente arrestate a tale data.

3. Che fare dei rifiuti nucleari?

Quello dei rifiuti è senza dubbio uno dei temi più sensibili, tanto per quanto riguarda l'opinione pubblica che in termini di affidabilità delle stime di costo del kWh nucleare. Al riguardo va sottolineato che non si può parlare genericamente di "rifiuti nucleari", nella misura in cui le problematiche connesse variano fortemente a seconda della loro tipologia e, più precisamente, della loro durata di vita, cioè del tempo di decadimento, e del livello di radioattività. I rifiuti nucleari sono in effetti classificati in:

- rifiuti a "vita breve", a loro volta suddivisi in media, bassa e bassissima attività, prodotti in gran parte dal normale esercizio degli impianti, ma anche dal loro decommissioning, che non pongono problemi di stoccaggio particolarmente acuti. I paesi "nucleari" dispongono praticamente tutti di impianti di stoccaggio in superficie dedicati a questa tipologia di rifiuti che, dal punto di vista volumetrico, rappresentano una quota preponderante del totale. In Francia, esistono due centri gestiti dall'ANDRA (Agenzia Nazionale per i Rifiuti Radioattivi), uno a Morvilliers per i rifiuti a bassissima attività e un secondo a Soulaïnes per quelli a bassa e me-

dia attività. In conclusione, si può affermare che per questa tipologia di rifiuti esistono soluzioni provate ed i costi sono noti.

- rifiuti a “vita lunga”, suddivisi in alta e media attività, provenienti in gran parte dal combustibile irraggiato. In questo caso la soluzione definitiva non è stata ancora individuata in maniera univoca e varie alternative sono allo studio in numerosi paesi. In Francia, a seguito di un lungo dibattito pubblico inquadrato da una legge ad hoc (Legge Bataille), si è deciso di continuare in parallelo lo studio delle tre opzioni attualmente individuate: separazione degli attinidi e loro trasmutazione attraverso l’irraggiamento in reattori nucleari dedicati, deposito di superficie, deposito geologico profondo “reversibile”. Quest’ultima è considerata, in Francia come in molti altri paesi, la soluzione di riferimento.

Nel frattempo, la gestione del combustibile irraggiato prodotto dalle centrali EDF è compatibile con i tempi necessari per la decisione sulla soluzione definitiva per il deposito e si iscrive in un’ottica di sviluppo sostenibile e di ricorso a lungo termine all’opzione nucleare:

- gli elementi irraggiati vengono lasciati raffreddare circa 15 anni in piscina e quindi ritrattati nel Centro Areva di La Hague .
- i flussi vengono gestiti in modo da stabilizzare le quantità di combustibile presenti in piscina in attesa di ritrattamento.
- uranio e plutonio vengono separati, recuperati e riutilizzati nella fabbricazione di nuovo combustibile, in particolare nel combustibile ad ossidi misti di uranio e plutonio, o stoccati in attesa di un utilizzo futuro
- i rifiuti ad alta attività e a vita lunga (prodotti di fissione) vengono vetrificati e stoccati sul sito di La Hague dove la capacità di stoccaggio copre almeno 30 anni di funzionamento del parco attuale.

4. Per un ritorno dell'Italia al nucleare

In Italia il nucleare, dopo 20 anni di “*damnatio memoriae*” è un argomento tornato di grande attualità. Da vecchio nucleare non pentito, non posso che guardare con favore e interesse a questa prospettiva, nei riguardi della quale mi sembra tuttavia utile fare alcune considerazioni generali, basate anche sull'esperienza francese passata e presente:

- premessa ovvia ad ogni ragionevole iniziativa in questo campo, è l'esistenza di un clima favorevole nell'opinione pubblica, nei media, nelle istituzioni. Questa condizione sembra oggi a portata di mano, anche sull'onda emozionale dell'esplosione dei prezzi degli idrocarburi e della crescente consapevolezza dei rischi relativi alla sicurezza di approvvigionamento ed ai cambiamenti climatici. L'atteggiamento di principio favorevole nei riguardi dell'opzione nucleare che si sta attualmente formando in una larga parte dell'opinione pubblica e delle istituzioni, va consolidato e mantenuto nel tempo anche attraverso la concretezza e la qualità delle iniziative industriali e la dimostrazione di saperle realizzare nei tempi annunciati.
- il nucleare è una scelta di lungo termine, per la quale si ragiona non in anni ma in decenni, che richiede pertanto una grande stabilità di strategie nel tempo e non tollera “stop-and-go” e ripensamenti al ritmo dell'alternanza delle maggioranze politiche e dei governi.
- non si tratta solo di costruire un certo numero di centrali, ma di gestire un sistema industriale complesso e articolato, sia pure in un contesto non autarchico ma di un mercato unico europeo: iter autorizzativo, industria manifatturiera, ciclo del combustibile, stoccaggio dei rifiuti radioattivi vecchi e nuovi, ecc.
- per avere dei costi di investimento accettabili, va prevista una se-

rie consistente di impianti, da realizzare con una cadenza elevata, facendo ricorso ad una tecnologia standard in modo da beneficiare il più possibile dell' "effetto serie" per ridurre tempi di realizzazione e costi;

- va aggiornato il quadro giuridico e l'iter autorizzativo, ispirandosi per quanto possibile alle "best practices" internazionali.
- è primordiale che l'autorità di sicurezza disponga di risorse e competenze adeguate
- infine, sarebbe auspicabile che l'UE adottasse delle regole di sicurezza standard per tutti gli Stati Membri e una procedura di "design certification" unica, come avviene negli USA, lasciando ad ogni paese la responsabilità sugli aspetti "site specific". Ciò permetterebbe di ridurre considerevolmente la durata del processo autorizzativo dei progetti italiani.

Il reattore IRIS

Mario Carelli* e Carlo Lombardi**

L'IRIS è un PWR integrato di progetto innovativo sviluppato da un team internazionale, sotto la guida della società Westinghouse. Ha elevati standard di sicurezza, anche grazie alle innovazioni previste per i principali componenti. È adatto per i mercati di ridotte dimensioni e quelli che richiedono una equilibrata esposizione di capitali. Un impegnativo programma sperimentale sulla sicurezza è iniziato in Italia, presso la società SIET, con finanziamenti pubblici. Potrà essere impiegato nel prossimo decennio.

1. Premessa

Nella seconda metà degli anni '90, dopo una lunga stasi delle ordinazioni di nuove centrali nucleari, si è cominciato a discutere di alcune importanti scelte progettuali, che fino a quel momento erano apparse come veri e propri postulati. Questi erano stati definiti dai progettisti americana, che fin dall'inizio dell'era nucleare avevano stabilito le basi di questa tecnologia. Citando i principali si doveva: i) fare reattori solo di grande potenza, ii) ottenere l'aumento della sicurezza con sempre più complessi, sofisticati e differenziati sistemi di protezione del reattore, iii) rendere il cuore dei reattori più compatto possibile, con la minima quantità di combustibile. Il primo era la logica conseguenza dell'importanza del costo capitale in questi impianti e dei conseguenti risparmi ottenibili con l'economia di scala; il tutto reso possibile dalla tipologia dei reattori ad acqua, quella più diffusa, che consentiva facilmente l'aumento delle poten-

* Westinghouse

** Politecnico di Milano

ze, fino a valori fino allora sconosciuti anche per le centrali convenzionali. È significativo il fatto che il limite alla potenza veniva imposto più dai componenti del ciclo secondario, cioè la turbina e l'alternatore, che dal reattore vero e proprio. Alle contestazioni della autorità si sicurezza e del pubblico si dava poi la risposta indicata al secondo punto. Infine, c'era la strana convinzione che dalla compattezza del reattore vero e proprio si ottenessero ulteriori significativi risparmi di costo. L'obiettivo analisi dell'esperienza acquisita con circa 400 reattori di potenza, aveva però messo in dubbio l'assoluta validità di questi *postulati*. I grandi reattori avevano sperimentato significativi ritardi nella costruzione dovuti a rallentamenti per gli interventi delle Autorità di sicurezza, preoccupate del maggior pericolo potenziale e per le maggiori complicazioni del cantiere, sicché una buona parte dell'economia veniva annullata. Inoltre, i pochi esemplari di reattore riducevano il numero degli impianti gemelli e la possibilità di sfruttare quanto si era *imparato* dai primi e di realizzare dei prodotti standardizzati. I sistemi di protezione erano oramai *perfetti*, ma l'impianto era diventato di una complessità esagerata, che determinava non solo una lievitazione dei costi, ma anche una difficile comprensione da parte dei non addetti del suo effettivo funzionamento nel fronteggiare ipotetici incidenti. Infine, un reattore compatto veniva ottenuto aumentando la potenza specifica del combustibile, che determinava dinamiche incidentali più veloci e più pericolose, con la necessità di rendere ancora più complesso il sistema di protezione. Inoltre, a parità di tasso di bruciamento del combustibile, si rendevano i suoi ricambi più frequenti, penalizzando il fattore di carico della centrale per i maggiori arresti richiesti. In conclusione, questi principi non erano proprio sbagliati, ma neanche assolutamente veri, come si voleva far credere, così da non poterli modificare, soprattutto considerando la specificità di ogni situazioni. Ad esempio, un piccolo Paese avrebbe ulteriori motivi per preferire reattori piccoli o medi, rispetto a quelli giganteschi e cioè

la limitazione della rete di trasmissione e la minor capacità finanziaria.

Nello stesso periodo, un'altra importante modifica riguardante l'atteggiamento degli Stati Uniti fu la considerazione che le risorse complessive necessarie per lo sviluppo di nuovi tipi di reattore non potevano venire da un solo Paese, anche se una grande potenza come gli Stati Uniti stessi, ma dovevano venire da collaborazioni internazionali.

Venendo alla situazione italiana, in quel periodo da un lato il nucleare continuava ad essere *criminalizzato*, dall'altro c'erano alcuni esperti ostinati, che credevano nel nucleare ed erano convinti che prima o poi ci sarebbe stato un suo *rinascimento* per attenuare la crisi energetica, che sarebbe arrivata, come difatti poi avvenne. Alcuni di questi esperti si misero a studiare tipologie diverse di reattori nucleari che contraddicevano i *postulati* progettuali su citati. In questo contesto ci si avvicina ad un particolare concetto di reattore, poi chiamato *IRIS: International Reactor Innovative and Secure*.

2. La concezione e l'organizzazione dell'IRIS

L'idea alla base dell'*IRIS* è quella di utilizzare la tecnologia dei reattori ad acqua, ed in particolare di quella dei reattori ad acqua in pressione, detti *PWR*, che sono i più diffusi, e di apportarvi una semplificazione importante, cioè mettere tutti i componenti del circuito primario dentro il recipiente in pressione, che conteneva il *cuore* del reattore. Questo era possibile perché si decise di puntare su potenze medie, perché altrimenti le dimensioni realizzabili di tale recipiente non avrebbero consentito di produrre elevate potenze. Per chiarire per potenze medie s'intendono valori di 300-600 MWe, mentre per quelle elevate 1000-1600 MWe. Questa scelta ha comportato il miglioramento della sicurezza del reattore e la possibilità di rendere assai più effi-

cace e semplice il sistema di protezione. La logica era quella di modificare il *processo*, in modo tale che alcuni gravi incidenti ipotizzabili non fossero possibili. Su tale idea nacque un interesse della società americana Westinghouse e grazie alla possibilità di avere un finanziamento dal Department of Energy americano, che riguardava solo organizzazioni USA, ma non impediva l'apporto di organizzazioni di altri Paesi, il programma partì proprio il 9/9/99, data a torto temuta dai sistemi informatici per tutti i 9 presenti. Quattro furono i partners di partenza: tre americani, e uno italiano e cioè il Dipartimento di Ingegneria Nucleare del Politecnico di Milano. L'idea iniziale rimase, ma lungo la strada subì delle modifiche. Se ne cita una per la sua rilevanza. Si sperava all'inizio di avere un sistema in circolazione naturale, cioè senza pompe, una bella semplificazione, ma calcoli più precisi ne escludono la possibilità, anche se le pompe richieste erano più semplici di quelle utilizzate nei PWR convenzionali e potevano essere introdotte nel recipiente, che conteneva tutto il sistema primario. Il concetto piacque ad altri e nel corso degli anni si aggiunsero molti altri partners, in totale 21 appartenenti a 10 Paesi. Quelli italiani, che erano cresciuti nel tempo, hanno dato un contributo importante alla definizione del progetto. Per esempio, l'esperienza italiana di progettazione sismica, ha consentito di risolvere elegantemente il problema dei pericoli derivanti da un terremoto. In realtà, il contributo più rilevante riguarda la qualificazione della sicurezza. La normativa prevede che un impianto di nuova concezione riceva da parte dell'Autorità di Sicurezza la *final design approval* e successivamente la *design certification*, che è la *conditio sine qua non* per poter andare sul mercato. È una procedura complessa che richiede parecchi anni e l'esigenza di presentare una documentazione non solo progettuale, ma anche sperimentale. Quest'ultima riguarda la simulazione dell'impianto ed del suo contenitore (questa è una novità) in una scala significativa, pari a 1:100, per ottenere i dati di situazioni incidentali previste dal Rapporto di Sicurezza. Queste prove sono state assegnate all'Italia e verranno ef-

fettuate presso la SIET S.p.A. di Piacenza; la loro complessa preparazione è già iniziata.

Una notazione importante riguarda la cessione del know-how. L'elemento di novità di questa collaborazione internazionale è che i *partners* hanno tutti pari dignità e restano proprietari delle conoscenze sviluppate. In caso di successo commerciale dell'impresa tale *know-how* consentirà loro di aver un riconoscimento economico in proporzione al lavoro di sviluppo fatto. Questo rapporto tra i vari *partners* avviene così in modo diverso e innovativo rispetto a quello tradizionale tra l'industria guida *licenziante* del prodotto nucleare, in quanto unico possessore del know-how e le industrie subordinate *licenziatarie*, che per fornire il prodotto pagano una royalty alla prima. È questo un elemento, che aldilà della suoi vantaggi economici, dà al Paese che partecipa allo sviluppo una maggiore dignità e un ruolo attivo.

Il lavoro prosegue e i tempi sono lunghi, come in tutte le iniziative simili. Se tutto prosegue regolarmente, si potrà andare sul mercato a partire dal 2015.

3. Descrizione dell'IRIS

IRIS è un reattore ad acqua leggera in pressione di tipo integrato e modulare. Integrato significa che tutti i componenti del circuito primario di un *PWR* (generatore di vapore, pompe primarie, pressurizzatore) ed anche gran parte della schermatura ed i meccanismi azionanti le barre di controllo sono alloggiati all'interno del recipiente in pressione, che normalmente contiene solo il nocciolo e le barre di controllo. La modularità deriva dalla potenza del reattore che è pari a 335 MWe, per i vincoli derivanti dalle dimensioni del recipiente in pressione. Un impianto è modulare quando lo si può utilizzare sia singolarmente, come nel caso di reti elettriche di limitata estensione e potenzialità, sia raggruppandolo in diversi esemplari sullo stesso sito per

realizzare una centrale di potenza elevata. In quest'ultimo caso, i vari moduli possono avere in comune alcuni servizi, in modo da abbassare i costi di capitale, oppure si possono costruire in successione i vari moduli, con intervalli di tempo tali da compensare i costi di costruzione degli impianti successivi con i ricavi di quelli funzionanti, già costruiti in precedenza: in questo caso si riduce sostanzialmente l'esposizione di capitale, anche se si riduce la possibilità di mettere in comune molti servizi. Questo concetto è peraltro adottato da molti progetti internazionali di nuovi reattori.

La figura 1 mostra uno spaccato del recipiente a pressione, con l'indicazione dei componenti del circuito primario che sono di progetto innovativo e che devono essere sottoposti ad un approfondito programma di ricerca applicata. Essi sono: i generatori di vapore, le pompe, il pressurizzatore, i meccanismi azionanti le barre di controllo. Il nocciolo previsto per le prime versioni del reattore è invece simile a quello impiegato in un *PWR* convenzionale, però più elevato è l'arricchimento, pari al 4,95 %, e più bassa la potenza specifica, meno del 60 %, per avere tassi di bruciamento maggiori e ricambi di combustibile più intervallati nel tempo. Ciò significa meno pericoli di proliferazione, aumento dei fattori di carico e diminuzione dei costi della manutenzione (O&M).

La sicurezza è basata sul nuovo concetto definito *sicurezza da progetto* (*safety by design*), che cerca nella concezione stessa del processo di generazione dell'energia di eliminare la possibilità che avvengano gli incidenti più gravi (quelli detti di *classe IV*) o di ridurre sostanzialmente le conseguenze. Questo miglioramento qualitativo della sicurezza soddisfa tutti i relativi requisiti per i reattori di *IV Generazione*¹ ed in particolare quello di non avere il danneggiamento

¹ I reattori di *IV Generazione* sono quelli che vengono attualmente proposti per essere sviluppati con programmi internazionali di ricerca. Essi si propongono come miglioramenti sostanziali degli attuali reattori, ma il raggiungimento degli obiettivi sperati sono da dimostrare con programmi lunghi, costosi e di risultato non garantito.

del nocciolo e quindi di non richiedere il piano di evacuazione della popolazione. Un'altra importante conseguenza riguarda la semplificazione del sistema di protezione e l'adozione di impianti di tipo passivo. Innovativo è anche il contenitore (fig. 2), che si basa su una equilibrata combinazione tra l'entità della condensazione del vapore fuoriuscito da un'ipotetica rottura (piccola in questo caso per assenza di grosse tubazioni) mediante recipienti d'acqua e il valore della pressione a cui resiste il contenitore di acciaio, ben maggiore di quella dei contenitori di un *PWR*.

La dimensione dell'anello di acqua che circonda il nocciolo consente di abbassare sostanzialmente sia il flusso integrato dei neutroni veloci sul recipiente, eliminando così ogni timore di un suo infragilimento, sia il flusso dei neutroni termici e della radiazione gamma, così da realizzare la maggior parte dello schermaggio all'interno del recipiente stesso. Quest'ultima caratteristica è originale e innovativa e permette tra l'altro di confinare tutti i materiali radioattivi all'interno del recipiente, così da semplificare lo smantellamento dell'impianto a fine vita.

Da queste poche note si evince la coerenza con quanto richiesto ai nuovi reattori: elevata sicurezza (*safety by design*), semplificazione del processo, economia con potenze medie, combustibile più flessibile, semplificazione del *decommissioning*, riduzione dei rifiuti per l'alto tasso di irraggiamento, riduzione del pericolo di proliferazione.

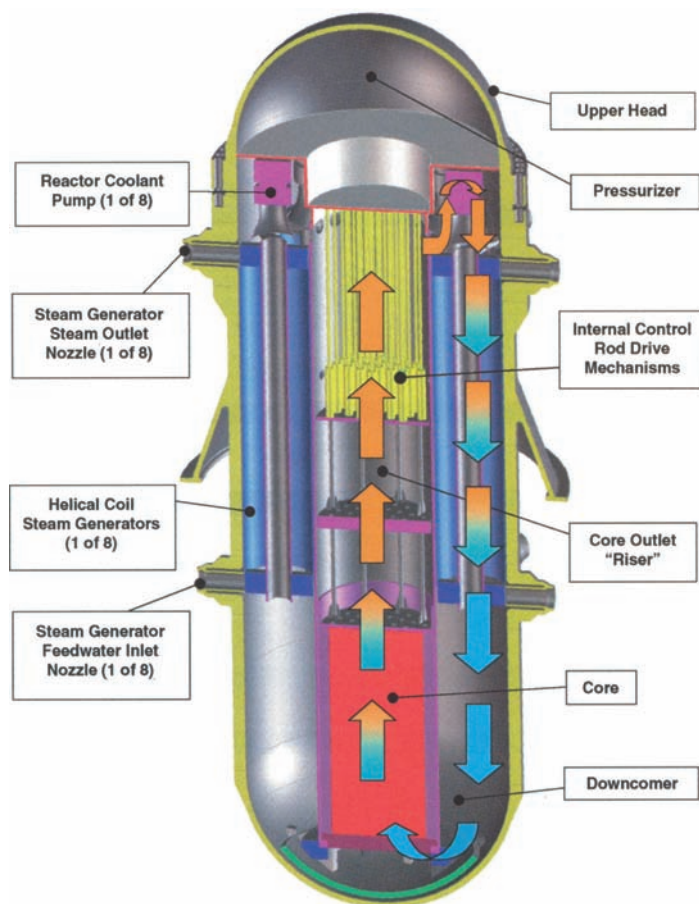


Figura1: Spaccato verticale del reattore IRIS.

Recentemente il Ministero dello Sviluppo Economico ha sponsorizzato un Accordo di Programma con l'ENEA, che comprende anche il finanziamento dell'esperienza integrale dell'*IRIS* per ottenere le autorizzazioni di sicurezza e allo stesso fine è stato siglato un accordo tra ENEA e l'ORNL americano.

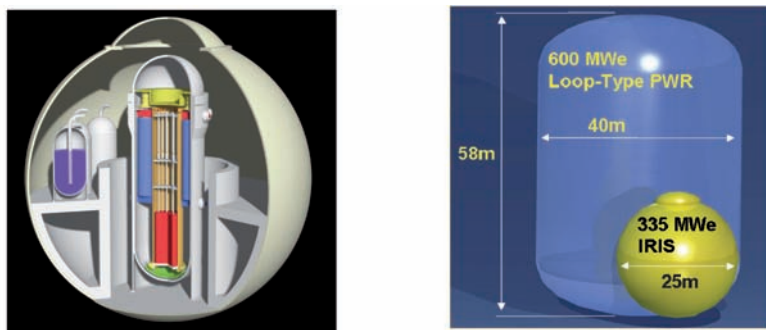


Figura 2: Reattore IRIS e suo contenitore di sicurezza; confronto con un reattore PWR standard

4. Le soluzioni innovative del progetto IRIS

Il progetto *IRIS* da un lato è saldamente legato alla ben nota tecnologia dei *PWR*, dall'altro ha introdotto molte innovazioni, che definiscono le sue peculiari caratteristiche, che vengono qui elencate, incluse quelle già sopra menzionate:

- *Progetto*: basato sulla semplicità per migliorare la sicurezza, l'affidabilità e l'economia;
- *Sistema primario*: integrato nel recipiente in pressione;
- *Sicurezza*: un approccio basato sulla *sicurezza da progetto* (*safety by design*);
- *Proliferazione*: maggiore resistenza per ricambi del combustibile più intervallati nel tempo;
- *Economia*: semplicità, modularità e fabbricazione in serie per controbilanciare *l'economia di scala*;
- *Funzionamento*: semplicità e minimizzazione dell'intervento degli operatori in caso di incidente;
- *Costruzione*: durata inferiore a tre anni, ridotta necessità di infrastrutture nel paese;

- *Sicurezza dei lavoratori*: apprezzabilmente ridotte le dosi al personale durante il funzionamento, la manutenzione e il decommissioning alla fine della vita operativa;
- *Management del progetto*: sviluppato da un integrato team internazionale, diretto dalla società Westinghouse, di 21 organizzazioni di 10 Paesi, tutte contribuendo alle risorse necessarie allo scopo;
- *Ricerca*: laboratori nazionali e università sono coinvolti nel suo sviluppo;
- *Mercati d'interesse*: quelli che richiedono reattori di taglia media per limitazioni della rete elettrica o finanziarie;
- *Penetrazione nel mercato*: facilitato dalla partecipazione di molti partners internazionali, molti dei quali inseriti nei mercati sopra indicati;
- *Autorizzazione di sicurezza*: favorita dalla sua eccezionale sicurezza, con la possibilità di eliminare il piano di evacuazione della popolazione limitrofa in caso d'incidente; l'autorizzazione è supportata da un programma internazionale di valutazione e sperimentazione in corso di svolgimento.

I componenti del circuito primario inseriti nel recipiente in pressione sono anch'essi di progetto innovativo, che ne migliora le caratteristiche di funzionamento e di sicurezza:

- *Pressurizzatore*: non c'è un recipiente apposito, bensì si utilizza la parte superiore del recipiente in pressione, con un ben superiore rapporto tra il volume zona vapore e la potenza, così da attenuare i transitori e consentire l'eliminazione degli spruzzi;
- *Pompe primarie*: di tipo assiale completamente immerse senza possibilità di perdite dalle tenute, senza conseguenze dovute alla rottura dell'albero, con manutenzione ridotta;
- *Barre di controllo*: sono azionate da meccanismi posti all'interno

del recipiente a pressione, così da evitare la possibilità di rottura delle tenute;

- *Generatori di vapore*: tubi elicoidali con il fluido primario ad alta pressione che scorre all'esterno, per cui i tubi sono compressi e non soggetti alla corrosione da sforzo (diversamente da quelli dei PWR convenzionali);
- *Anello tra il nocciolo e la parete del recipiente*: di acqua primaria e largo 1,7 metri elimina il problema di infragilimento del recipiente in pressione e facilita il *decommissioning* (vedi sopra).
- *Sistema passivo per il raffreddamento d'emergenza*: in caso d'incidente i generatori di vapore vengono isolati e collegati con uno scambiatore di calore posto in alto e annegato entro una piscina d'acqua; il fluido secondario intrappolato nei generatori di vapore, otto in tutto, si muove in circolazione naturale e consente l'asportazione del calore di decadimento direttamente all'interno del recipiente in pressione (una novità), con evidenti vantaggi di sicurezza;
- *Impianto compatto*: consente di ridurre notevolmente le dimensioni del contenitore e di consentire elevate pressioni in caso d'incidente di rottura delle tubazioni primarie, collegate al recipiente in pressione, peraltro ben più piccole di quelle di un PWR convenzionale, con un miglioramento sostanziale della sua evoluzione;
- *Manutenzione e ricambi del combustibile*: per queste attività le fermate dell'impianto possono essere intervallate fino a 48 mesi.

Tutte queste scelte progettuali, che partono dal concetto di migliorare la sicurezza agendo direttamente sul processo di generazione della potenza e non rendendo più complesso il sistema di protezione, sono alla base di quello che si definisce *sicurezza da progetto* (*safety-by designTM*), che è un vero e proprio *trade mark* (TM). In sintesi, IRIS ha abbassato la prevista *Frequenza di Danneggiamento del Nocciolo* (*Core Damage Frequency: CDF*) dell'ordine di 10^{-8} /anno e

Frequenza di Grandi Rilasci Iniziali (Large Early Release Frequency: LERF) dell'ordine di 10^{-9} /anno. Questi valori sono migliori di quelli già ottimi degli attuali reattori.

5. Conclusioni

L'*IRIS* è un *PWR* integrato di progetto innovativo, di potenza media, 335 MWe, sviluppato da un team internazionale, sotto la guida della società Westinghouse, con forte presenza di organizzazioni Europee ed in particolare Italiane. Ha elevati standard di sicurezza e la possibilità di escludere la necessità di avere un piano di evacuazione. I processi sono analoghi a quelli dei reattori ad acqua, mentre innovazioni sono previste per i principali componenti del circuito primario, con esclusione del combustibile e del nocciolo del reattore, per ridurre così apprezzabilmente i tempi e gli oneri dello sviluppo. È adatto per soddisfare le esigenze dei mercati di ridotte dimensioni, come anche quelle di tutti quei mercati, che richiedono una equilibrata esposizione di capitali. Un impegnativo programma sperimentale sulla sicurezza è iniziato in Italia, presso la società *SIET*, con finanziamenti pubblici. Ciò è necessario per supportare la documentazione richiesta per ottenere la *final design approval* da parte dell'Autorità di Sicurezza Americana nel 2014. Ciò è pregiudiziale per il successivo impiego commerciale.

Bibliografia

- [1] M.D. Carelli, "IRIS: A Global Approach to Nuclear Power Renaissance," *Nuclear News*, 46, No. 10, pp. 32-42 (Sep. 2003).
- [2] B. Petrović, M.D. Carelli, "IRIS Project Update: Status of the Design and Licensing Activities," *Proc. 5th Intl. Conf. on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids*, Dubrovnik, Croatia, May 16-20, 2004, HND (2004).
- [3] M.D. Carelli, B. Petrović, N. Čavlina, D. Grgić "IRIS (International Reactor Innovative and Secure) – Design Overview and Deployment Prospects," *Proc. Intl. Conf. Nuclear Energy for New Europe 2005 (NENE 2005)*, Bled, Slovenia, September 5-8, 2005 (2005).
- [4] M.D. Carelli, B. Petrović, "Here's Looking at IRIS," *Nuclear Engineering International*, Vol 51. No 620, pp. 12-18 (March 2006).
- [5] M.D. Carelli *et al.*, "The Design and Safety Features of the IRIS Reactor," *Nucl. Eng. Design*, 230, pp. 151-167 (2004).
- [6] Website <http://www.gnep.energy.gov> .
- [7] M.D. Carelli *et al.*, "The IRIS Consortium: International Cooperation in Advanced Reactor Development," *Proc. 13th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-13)*, Beijing, China, May 16-20, 2005, Paper ICONE13-50799 (2005).
- [8] M.D. Carelli, B. Petrović, M. Ricotti, N. Todreas, N. Čavlina, F. Oriolo, H. Ninokata, "Role of Universities in the Development of IRIS," *Proc. International Youth Nuclear Congress (IYNC 2006)*, Stockholm, Sweden, June 18-23, 2006, Paper 137 (2006).
- [9] M.D. Carelli, B. Petrović, P. Ferroni, "IRIS Safety-by-Design™ and Its Implication to Lessen Emergency Planning Requirements," to be published in *Intl. Journal of Risk Assessment and Management* (in print, 2007).

- [10] B. Petrović, F. Franceschini, "Fuel Management Approach in IRIS Reactor", *Proceedings LAS-ANS Intl. Conf.*, Cancun, Mexico, July 11-16, 2004 (2004).
- [11] B. Petrović, F. Franceschini, "Fuel Management Options in IRIS Reactor for the Extended Cycle", *Proceedings of the 5th Intl. Conf. on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids*, Dubrovnik, Croatia, May 16-20, 2004 (2004).
- [12] J.W. Williams, "A Multinational Design Approval Program", *Proceedings of ICAPP '06*, Reno, NV, June 4-8, 2006 (2006).
- [13] M.D. Carelli, B. Petrovic, L. Sandell, G.D. Storrick "IRIS: A Comprehensive Approach to Nuclear Power in Smaller Size and Developing Countries" *Proc ICAPP 08*, Anaheim, CA, USA, June 8-12, 2008, Paper 8338
- [14] D. T. Ingersoll, J. L. Binder, D. Conti, M. E. Ricotti, "Nuclear Desalination Options for the International Reactor Innovative and Secure (IRIS) Design," *Proc 5th Intl. Conf. on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids*, Dubrovnik, Croatia, May 16-20, 2004 (2004)
- [15] B.D. Baptista Filho, M. Cegalla, R.N. Raduan, A.C.O. Barroso, L. Molnary, F.R.A. Lima, C.A.B.O. Lira, R.C.F. Lima, "Social, Economic and Environmental Assessment of Energy and Water Desalination Options for the Brazilian Polygon of Drought Using the IRIS Reactor", *Proc 5th Intl. Conf. on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids*, Dubrovnik, Croatia, May 16-20, 2004 (2004)
- [16] Gustavo Alonso, Ramon Ramirez, Carmen Gomez, Jorge Vi-ais, "IRIS Reactor: A Suitable Option to Provide Energy and Water Desalination for the Mexican Northwest Region", *Proc. LAS-ANS Intl. Conf.*, Cancun, Mexico, July 11-16, 2004. (2004)
- [17] M.D. Carelli, B. Petrovic, C. Mycoff, G. Locatelli, M. Manc-

- ni, M.E. Ricotti, P. Trucco, S. Monti, K. Miller, "Economic Features of Smaller Size, Integral Reactors", *European Nuclear Conference (ENC 2007)*, Brussels, Belgium, September 16-19, 2007. (2007)
- [18] K. Miller, IRIS – Economics Review, *Proc. 13th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-13)*, Beijing, China, May 16-20, 2005 (2005).
- [19] M.D. Carelli, B. Petrovic, M. Dzodzo, L. Oriani, L. Conway, G. Cattadori, A. Achilli, R. Ferri, F. Bianchi, S. Monti, F. Berra, M.E. Ricotti, L. Santini, D. Grgic, G.L. Yoder, "SPES-3 Experimental Facility Design for IRIS Reactor Integral Testing", *European Nuclear Conference (ENC 2007)*, Brussels, Belgium, September 16-19, 2007. (2007)
- [20] S. De Grandis, G. Benamati, G. Bianchi, D. Mantegazza, F. Perotti, L. Corradi Dell'Acqua, S. Monti, "A New Approach for the Seismic Analysis and Design of the IRIS Reactor", *European Nuclear Conference (ENC 2007)*, Brussels, Belgium, September 16-19, 2007. (2007).



I reattori nucleari di nuova generazione

Luciano Cinotti* e Silvia De Grandis**

Appare con evidenza come il grado in cui il nuovo nucleare soddisferà le sue promesse sarà funzione del livello di sviluppo tecnologico raggiunto, sul quale si basa la possibilità di realizzazione in primo luogo, e di funzionamento sicuro ed affidabile successivamente, dei sistemi di nuova generazione.

1. Il panorama attuale

La potenza nucleare ad oggi installata al mondo è pari circa a 370 GWe, in grado di coprire il 15,2 % dell'energia elettrica mondiale, il 30,2% di quella europea (dati 2005). Questa percentuale si è mantenuta pressoché costante nell'ultimo decennio, ma si registra di recente un rinnovato interesse nei confronti di detta fonte energetica.

Ad oggi, infatti, si contano circa **30 reattori nucleari in costruzione, poco meno di 90 pianificati e oltre 200 annunciati.**

La crescita nucleare a breve termine rimane concentrata in Asia ed Est Europa, come testimoniano i 5 reattori in costruzione in Cina, o 6 in India, i 2 in Giappone o i 7 nella Federazione Russa, per citare i dati più significativi.

Altrove i piani rimangono più contenuti, ma appare chiaro come l'impiego dell'energia nucleare si stia ripresentando quale seria opzione. A testimonianza ne è la costruzione in Finlandia, di un nuovo reattore nucleare, il primo nell'Ovest Europa dal 1991 [fonti WNA, IAEA].

*Del Fungo Giera Energia

** Ricercatrice ENEA

La quasi totalità degli impianti oggi in funzione è della cosiddetta seconda generazione e raffreddamento ad acqua. Si tratta di vari concetti di reattore costruiti tra gli anni 1970 – 1980, che impiegano l'acqua quale fluido refrigerante.

La tecnologia nucleare è, infatti, passata attraverso diverse generazioni di reattori [1].

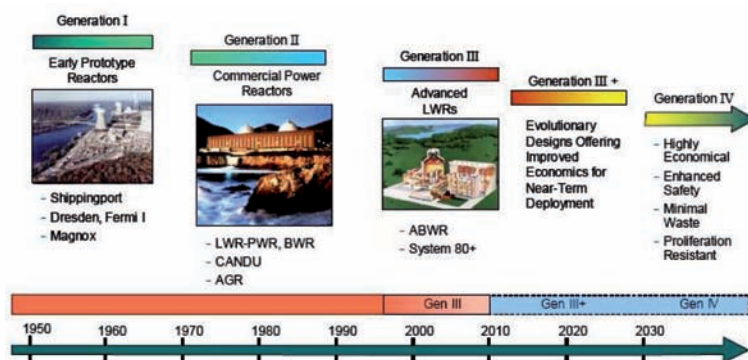


Figura 1: L'evoluzione delle generazioni di reattori nucleari [1]

Alla **prima generazione** di reattori prototipo ha fatto seguito una **seconda generazione** di reattori nucleari, che, come detto, costituisce la maggior parte degli impianti attualmente operanti. Si tratta principalmente di reattori refrigerati ad acqua leggera, in pressione (PWR) o bollente (BWR), ma anche di concetti refrigerati ad acqua pesante (PHWR o CANDU) o a gas (AGR), e di reattori moderati a grafite e refrigerati ad acqua (RBMK).

Oggi iniziano ad essere disponibili i primi reattori di **terza generazione**, che migliorano le caratteristiche di sicurezza e competitività dei predecessori: sono, ad esempio, in corso di costruzione in

Francia e in Finlandia centrali nucleari di tipo EPR (European Pressurized Reactor), sono pronti alla costruzione in USA e Cina sistemi tipo AP1000 e sono già stati costruiti in Giappone reattori ad acqua bollente tipo ABWR.

In generale, la terza generazione si diversifica dalla seconda, per ammodernamenti nell'elettronica e specialmente per una revisione degli aspetti relativi alla sicurezza soprattutto per quanto riguarda la gestione degli incidenti severi; in pratica, però, il nocciolo del reattore ed il principio di funzionamento rimangono pressoché invariati.

Miglioramenti di questa generazione di reattori sono in fase di studio (la cosiddetta *Generation III+* o *International Near Term Deployment (INTD) Reactors*), che potranno essere presumibilmente disponibili a partire dal 2015-2020.

I limiti più evidenti che ancora presentano i reattori di terza generazione, seppur migliorati rispetto a quelli della seconda generazione, sono quelli dell'utilizzo insoddisfacente dell'uranio naturale, di un'elevata **produzione delle scorie a lunga vita e dei rischi di proliferazione**.

Utilizzano, infatti, l'uranio naturale a meno dell' 1% ed in **concomitanza alla reazione di fissione** comportano **molte reazioni di assorbimento di neutroni** con un'elevata **produzione di atomi pesanti quali plutonio ed attinidi minori che costituiscono i maggiori responsabili della radiotossicità di lungo termine delle scorie nucleari**.

Comportano inoltre rischi di proliferazione perché essi fanno ancora ricorso alla tecnica di arricchimento dell'uranio.

Da qui la spinta propulsiva verso lo sviluppo di una nuova classe di sistemi nucleari, i cosiddetti reattori di quarta generazione, che potranno rispondere alle questioni ancora aperte con le attuali classi di reattori nucleari, anzi ne potranno bruciare le scorie di lunga vita prodotte. È proprio la prospettiva di sviluppo dei reattori di quarta generazione che giustifica il ricorso alla tecnologia nucleare, non

una tecnologia di breve respiro destinata ad esaurirsi con le relativamente limitate riserve di uranio, ma una tecnologia che potrà assicurare all'umanità energia compatibile con l'ambiente e per tempi praticamente illimitati.

2. Generation IV

Nel gennaio 2000 nasce l'iniziativa *Generation IV* quando dieci Paesi (Argentina, Brasile, Canada, Francia, Giappone, Corea, Sud Africa, Svizzera, Regno Unito e Stati Uniti d'America) si uniscono per formare il "*Generation IV International Forum*" (GIF) col fine di sviluppare una nuova generazione di reattori nucleari, la cosiddetta quarta generazione, che possa definitivamente rispondere alle questioni ancora aperte con le attuali classi di reattori nucleari.

Questo sforzo congiunto, assolutamente unico, ha raggiunto un traguardo importante e (gli attuali membri del forum) **Canada, Cina, Corea del Sud, Euratom, Francia, Giappone, Sud Africa, Svizzera ed USA** hanno firmato il *Framework Agreement* volto allo sviluppo internazionale di sistemi nucleari avanzati. **È attesa a breve la sottoscrizione del anche da parte della Russia.**

Questi nuovi reattori, di cui si prevede lo spiegamento tra il 2025 e il 2030, dovranno essere in grado di:

- **produrre energia nel rispetto dell' ambiente**, per soddisfare i bisogni delle presenti generazioni senza inficiare le possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri (*sustainability*)
- essere **economicamente competitivi** con le altre fonti energetiche (*economics*)
- avere eccellenti caratteristiche di **sicurezza ed affidabilità** (*safety and reliability*)

- costituire la via **meno attraente** per la **proliferazione nucleare** ed essere fortemente **protetti contro attacchi terroristici** e azioni di **sabotaggio** (*proliferation resistance and physical protection*)

Otto obiettivi specifici sono stati definiti nelle quattro macro aree sopra citate.

Gli obiettivi di sostenibilità fanno riferimento ad un efficace impiego del combustibile ed alla minimizzazione delle scorie e ad una loro avveduta gestione.

Gli obiettivi di economicità puntano a ridotti costi di produzione per l'intero ciclo del combustibile ed al raggiungimento di un livello di rischio finanziario comparabile a quello delle altre fonti.

Gli obiettivi di sicurezza ed affidabilità fanno riferimento, chiaramente, ad elevati livelli di sicurezza ed affidabilità di funzionamento del sistema, ma anche al miglioramento della gestione degli incidenti ed ad una conseguente mitigazione delle conseguenze, alla protezione degli investimenti ed all'eliminazione della necessità di piani di evacuazione di emergenza.

Infine, gli obiettivi di resistenza alla proliferazione e protezione fisica fanno riferimento alla messa in sicurezza ed alla protezione del materiale e delle installazioni nucleari.

Sulla base delle quattro macroaree elencate, il comitato di Esperti del programma ha selezionato sei concetti di reattore potenzialmente in grado di soddisfare gli obiettivi sopra descritti, attraverso un'attento ed efficace impiego del combustibile, una minimizzazione delle scorie ed una loro avveduta gestione, una riduzione dei costi di produzione e del livello di rischio finanziario, un continuo monitoraggio del ciclo del combustibile e la predisposizione di adeguate barriere di protezione.

Tali concetti di reattore, considerati per la produzione di elettricità, ma anche per applicazioni dell'energia nucleare parallele, qua-

li uso industriale del calore e desalinizzazione dell'acqua marina, sono noti come:

- *Gas-Cooled Fast Reactor system - GFR*; reattore a spettro neutronico veloce, refrigerato a gas, con ciclo del combustibile chiuso.
- *Lead-Cooled Fast Reactor system - LFR*; reattore a spettro neutronico veloce, refrigerato a piombo, con ciclo del combustibile chiuso.
- *Sodium-Cooled Fast Reactor system - SFR*; reattore a spettro neutronico veloce, refrigerato a sodio, con ciclo del combustibile chiuso.
- *Molten Salt Reactor system - MSR*; reattore a spettro termico o veloce, refrigerato a sali fusi.
- *Supercritical Water-Cooled Reactor system - SCWR*; reattore a spettro termico, refrigerato ad acqua supercritica, potenzialmente interessante per l'elevata efficienza termica prevista. È fondamentalmente un reattore ad acqua leggera, operante però a temperature e pressioni maggiori.
- *Very-High-Temperature Reactor system - VHTR*; si tratta di un reattore moderato con grafite e refrigerato con gas ad altissima temperatura (circa 1000 °C); prevede un ciclo di utilizzo dell'uranio a singolo passaggio (quindi il ciclo del combustibile non è "chiuso"). Le alte temperature consentono applicazioni industriali come la produzione di calore utilizzabile per usi chimici, oppure la produzione di idrogeno tramite il ciclo termo-chimico zolfo-iodio.

Tra questi, particolarmente interessanti sono i tre concetti a spettro neutronico veloce (LFR, SFR, GFR) in quanto sono in grado di utilizzare l'Uranio 100 volte meglio rispetto ai reattori delle precedenti generazioni e possono adoperare sia il plutonio che gli attinidi minori prodotti, riducendo la quantità di rifiuti e la loro durata (da centinaia di migliaia di anni a centinaia di anni).

I reattori di Generazione IV potranno anche utilizzare come combustibile il plutonio e gli attinidi minori prodotti dai reattori delle

precedenti generazioni ed anche il torio, più abbondante in natura dell'uranio.

Nel quadro sopra descritto, appare con evidenza come **il grado in cui il nuovo nucleare soddisferà le sue promesse sarà funzione del livello di sviluppo tecnologico raggiunto**, sul quale si basa la possibilità di realizzazione in primo luogo, e di funzionamento sicuro ed affidabile successivamente, dei sistemi di nuova generazione.

A livello internazionale è stata lanciata, negli ultimi anni, una numerosa serie di iniziative fra cui si ricordano, oltre alla già citata Generation IV promossa, appunto, nel 2000 dall' U.S. Department of Energy (DOE), l'International Project on Innovative Reactors and Fuel Cycles (INPRO), il Global Nuclear Energy Programme (GNEP) e la Sustainable Nuclear Energy Technology Platform.

In parallelo vanno ricordate anche le attività specifiche di ricerca e sviluppo che mirano a rendere possibile una drastica riduzione dei rifiuti radioattivi a lunga vita mediante tecniche di separazione e trasmutazione (P&T - Partitioning and Transmutation), tra cui da ricordarsi sicuramente gli sforzi indirizzati allo sviluppo dei sistemi sottocritici pilotati da acceleratore (ADS) proposti dal Prof. Rubbia.

3. Il panorama italiano

Il nostro Paese è fortemente coinvolto attraverso l'azione sinergica di capacità accademiche e di ricerca, da un lato, e capacità industriali e realizzative, dall'altro, nelle attività di supporto allo sviluppo dei sistemi sottocritici pilotati da acceleratore ed a diversi concetti di reattore a fissione di quarta generazione, con particolare attenzione ai concetti di reattore veloce refrigerato a piombo (LFR), di reattore refrigerato a sodio (SFR) e di reattore refrigerato a gas, GFR/ VHTR.

Nel dettaglio, l'Italia partecipa a Generation IV tramite EURATOM, contribuendo ai progetti dei Programmi Quadro della Commissione Europea orientati allo sviluppo dei sei concetti di reattore selezionati da GIF e con contributi rilasciati ad EURATOM tramite specifico accordo bilaterale provenienti dai programmi nazionali.

Ad esempio, è di assoluta rilevanza il ruolo giocato a livello internazionale nell'ambito dello sviluppo dei sistemi refrigerati a metallo liquido pesante.

È, ad esempio, un italiano a rappresentare EURATOM nel comitato esecutivo (*steering committee*), di cui è anche *chairman*, dei sistemi di tipo LFR di quarta generazione, che ha il compito di coordinare le attività di ricerca per lo sviluppo del sistema.

È sempre italiano, il coordinamento di due importanti progetti comunitari del Sesto Programma Quadro dell'EURATOM, attualmente in corso.

Il primo, ELSY (*European Lead-cooled SYstem*), è dedicato alla valutazione della fattibilità di un reattore veloce critico refrigerato a piombo, sicuro e competitivo. La partecipazione italiana, in forze, spazia dalla progettazione di nocciolo (neutronica e termoidraulica), alla progettazione di componenti e sistemi, a valutazioni di affidabilità e sicurezza, per finire con il coordinamento di tutte le attività legate alla tecnologia del refrigerante in uso.

Il secondo progetto, VELLA (*Virtual European Lead Laboratory*) è, invece, dedicato più specificatamente ad attività di armonizzazione dello spazio europeo della ricerca nel settore dell'applicazione dei metalli liquidi pesanti in sistemi nucleari, attraverso azioni che favoriscono la cooperazione internazionale, l'accesso alle infrastrutture e la mobilità dei ricercatori.

L'attività italiana è improntata specialmente all'identificazione ed alla qualifica di soluzioni innovative per ridurre il costo ed esaltare le caratteristiche di sicurezza tipiche dalla tecnologia del piombo.

Non va, poi, trascurata la partecipazione italiana ad altri proget-

ti, dedicati più specificatamente allo sviluppo di reattori sottocritici per la trasmutazione delle scorie.

Tra questi, un accenno va senz'altro fatto all' esperimento MEGAPIE (*MEGAwatt Pilot Experiment*), di realizzazione di un modulo di spallazione a metallo liquido pesante, dalla potenza di 1 MW. Al progetto, nato dalla collaborazione di nove Istituti di ricerca ed Agenzie governative tra Europa (CEA, CNRS, ENEA, FZK, PSI, SCK-CEN), Giappone (JAEA), Corea (KAERI) e Stati Uniti d'America (USDOE), l'Italia ha dato un supporto pari a circa l' 8% del valore totale, risultando il terzo Paese per forniture tecnologiche dopo la Svizzera e la Francia. Il 22% degli investimenti per la realizzazione del target e dei suoi sistemi ausiliari, infatti, è stato diretto verso aziende italiane.

Uguualmente, anche per i sistemi refrigerati a gas o a sodio, numerosi progetti sono in corso con attività che spaziano dallo studio di sistema, alle analisi neutroniche, con particolare attenzione allo sviluppo di materiali in grado di soddisfare le condizioni di funzionamento (che, specie nel caso del gas, sono molto gravose) di questi sistemi, anche attraverso progetti trasversali.

Va poi ricordato, che, in sinergia con le attività portate avanti in un contesto internazionale, come sopra descritto, numerose azioni sono condotte nell'ambito di progetti nazionali, come, ad esempio è il caso dell'Accordo di Programma tra ENEA ed il Ministero dello Sviluppo Economico che si propone, tra le altre cose, proprio di sfruttare le competenze ancora esistenti per partecipare a pieno titolo allo sviluppo di sistemi di quarta generazione.

Bibliografia

- [1] A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, December 2002, US DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum

Alternative energetiche in Piemonte

Agostino Mathis*

Viene delineato lo scenario delle possibili alternative del mix energetico per la Regione Piemonte, e dei conseguenti impatti sulle disponibilità finanziarie e sull'ambiente. L'analisi parte dal contenuto di una intesa fra Regione Piemonte ed Enel che prevede l'installazione di impianti ad energie rinnovabili (sole, vento) per un investimento dell'ordine del miliardo di Euro. Risulta che questi impianti rappresenterebbero per il Piemonte meno del 2% del fabbisogno annuale di energia elettrica (che corrisponde ad una frazione di per cento del fabbisogno annuale di energia primaria). In alternativa, lo stesso investimento impegnato nella costruzione di un impianto nucleare (in comune con altre Regioni) potrebbe fornire una quantità di energia "carbon-free" maggiore di un ordine di grandezza, permettendo inoltre di ridurre nettamente le attuali importazioni di energia elettrica (di origine nucleare) dalla Francia. Se poi il Piemonte accettasse la installazione di impianti nucleari, ne basterebbero due da 1.500 MWe ciascuno (anche riuniti in una sola centrale), i quali, coordinati con le centrali idroelettriche a caduta dell'Arco Alpino, consentirebbero al Piemonte di divenire, in una decina d'anni, una delle poche aree al mondo in grado di produrre praticamente tutta l'energia elettrica senza emettere gas-serra.

1. Le "nuove rinnovabili" in Piemonte

Al fine di valutare in termini quantitativi le diverse opzioni che si propongono per gli investimenti in nuove fonti energetiche per

*Università di Roma "La Sapienza", ENEA

il Piemonte, si fa riferimento all'intesa fra Regione Piemonte ed Enel, sottoscritta a Torino il 25 luglio 2008 (1).

L'intesa citata prevede di installare impianti eolici per 150 megawatt di picco (MWp) ed impianti fotovoltaici per 120 MWp. Considerando solo l'investimento iniziale necessario per la costruzione degli impianti ad energie rinnovabili, l'intesa tra Regione Piemonte ed Enel prevede un ammontare dell'ordine del miliardo di Euro (e cioè, in media, quasi 4.000 Euro per kilowatt di picco installato). In merito, l'Enel non fa obiezioni, in quanto evidentemente è ben consapevole degli incentivi offerti dallo Stato (certificati verdi per l'eolico e "conto energia" per il fotovoltaico), ma ovviamente si tratta di oneri, molto rilevanti, che resteranno comunque a carico della comunità nazionale.

Nell'articolo menzionato in (1) si afferma che questa iniziativa permetterebbe alla Regione di produrre l'equivalente di un quarto delle importazioni di energia elettrica dalla Francia. Dalle statistiche di Terna per il 2007 (2), risulta che il Piemonte ha consumato circa 27 miliardi di kWh, cioè 27 terawattora (TWh), di energia elettrica, di cui 21 prodotti sul territorio. Tuttavia il Piemonte nel 2007 ha anche importato dalla Francia ben 16 TWh, di cui quasi 7 TWh trasferiti ad altre Regioni italiane. L'intendimento della intesa prima citata era comunque quello di produrre, con i nuovi impianti ad energia rinnovabile l'equivalente di un quarto delle importazioni di energia elettrica dalla Francia utilizzate in Piemonte (e cioè circa 2 TWh). Vediamo se ciò è realistico.

Gli impianti eolici sarebbero installati sul crinale montuoso tra Piemonte e Liguria, dove, come mi è noto anche da esperienze personali, il vento non è certo paragonabile a quello del Mare del Nord (ricordo qualche giorno di tramontana d'inverno e regolari brezze di mare, il "marin", nei caldi pomeriggi estivi...). Tenuto conto che anche in Germania il fattore di carico degli impianti eolici in media si aggira sul 20% (3), applicando questo stesso valore, quei 150

MWp produrrebbero in un anno (8.760 ore) non più di $150 \times 8.760 \times 0,2 = 262.800$ MWh.

Gli impianti fotovoltaici, in una regione come il Piemonte con lunghi inverni nebbiosi ed estati spesso piovose, difficilmente potrebbero superare una resa di 1.000 ore equivalenti all'anno (4). Allora quei 120 MWp previsti produrrebbero in un anno soltanto $120 \times 1.000 = 120.000$ MWh.

In totale, quindi, gli impianti per le “nuove energie rinnovabili” in Piemonte, previsti dall'intesa citata, fornirebbero in un anno meno di 400.000 MWh, cioè meno di 0,4 TWh. Non si comprende allora come nell'articolo menzionato si affermi che questa iniziativa permetterebbe alla Regione di produrre l'equivalente di un quarto delle importazioni di energia elettrica dalla Francia utilizzate in Piemonte.

In realtà, queste “nuove energie rinnovabili” rappresenterebbero per il Piemonte meno del 2% del fabbisogno annuale di energia elettrica (il che corrisponde ad una frazione di per cento del fabbisogno annuale di energia primaria): si tratterebbe quindi di un contributo trascurabile per il conseguimento degli obiettivi posti dalla Commissione Europea nel gennaio 2008. Si ricorda in proposito che tali obiettivi, da raggiungere entro il 2020, prevedono, tra l'altro (5):

- riduzione di almeno il 20% delle emissioni di gas-serra rispetto al 1990;
- conseguimento, da parte della UE nel suo complesso, di una quota del 20% di energia primaria da fonti rinnovabili (quota che per l'Italia è stata ridotta al 17%, a fronte del dato storico per il 2005 pari soltanto al 7%).

Tenendo conto dei costi unitari riportati in (3) per gli impianti eolici in Italia nel 2007 (1.800 Euro/kWp), la realizzazione impiantistica del parco eolico da 150 MWp richiederebbe 270 milioni di Euro. Si può quindi presumere che il resto dell'investimento previsto di un miliardo di Euro, e cioè circa 700 milioni di Euro, siano

da destinare ai 120 MWp di impianti fotovoltaici (il cui costo unitario risulterebbe quindi di circa 5.800 Euro/kW). Tenuto conto delle producibilità prima calcolate, molto più basse in Piemonte per gli impianti fotovoltaici anche rispetto agli eolici, e della vita utile, circa la stessa per i due tipi di impianto, risulta allora che la componente “ritorno dell’investimento” nel costo del kWh sarebbe diverse volte più alta per il fotovoltaico rispetto all’eolico.

2. L’impatto sul territorio e sull’ambiente

Occorre poi tener conto dell’impatto sul territorio e sull’ambiente degli impianti eolici e fotovoltaici. Per quanto riguarda gli eolici, l’impatto dipende anche dalla potenza unitaria che verrà prescelta per i generatori: se fosse di 1 MWp (la potenza media dei generatori attualmente installati in Italia), occorrerebbe installare ben 150 torri alte anche 100 m (con le pale) sui crinali dell’Appennino Ligure e delle Alpi Marittime; se fosse di 3 MWp (la potenza dei nuovi generatori a maggior rendimento), le torri sarebbero “solo” 50, ma alte anche 150 m.

Occorre comunque tener presente che la dislocazione prevista per i nuovi generatori eolici, sul crinale montuoso tra Piemonte e Liguria, comporterebbe notevoli difficoltà e costi per la infrastrutturazione di un territorio di tipo montuoso e lontano da infrastrutture già esistenti (come autostrade, ferrovie, fiumi, in grado di trasportare gli ingombranti e pesanti componenti dei generatori eolici). Se le strade ed i ponti esistenti non potessero accogliere il passaggio di pale lunghe anche 50 m e di generatori pesanti anche 50 tonnellate, essi dovrebbero essere modificati o ricostruiti prima del passaggio. Ciò induce a ritenere che per la prevista dislocazione montana i generatori dovrebbero essere 150 da 1 MWp.

Non potendo poi prevedere più di circa 6 o 7 MWp di potenza

eolica per chilometro quadrato, il parco eolico si estenderebbe per almeno una ventina di chilometri quadrati (2.000 ettari), il cui utilizzo dovrà competere con usi alternativi del medesimo territorio. Nel caso di precedente utilizzo di tipo forestale o anche agricolo, si può pensare di mantenerlo unitamente al nuovo utilizzo. Ma in altri casi, la competizione può essere aspra: se vi sono già realtà od opportunità di sviluppo turistico o immobiliare, la nuova iniziativa provocherebbe un crollo immediato dei valori immobiliari. Vi sono infine le considerazioni di carattere estetico e naturalistico che qui non si vogliono approfondire.

In ogni caso, è ovvio che la valutazione e la risoluzione di queste problematiche non potrebbero essere circoscritte all'ambito della Regione Piemonte, ma dovrebbero coinvolgere anche la Regione Liguria, a cui il parco eolico risulterebbe contiguo.

È poi da notare che gli altissimi costi di investimento richiesti dalle attuali tecnologie per le nuove fonti rinnovabili, in particolare dal solare fotovoltaico (in questo caso, 5.800 Euro/kW), hanno una precisa motivazione fisica, nel senso che sono conseguenza del loro altissimo contenuto in materiali pregiati ed energia. Di fatto negli ultimi anni i costi di tali tecnologie, invece di diminuire come previsto, hanno fortemente risentito dei crescenti costi dell'energia e delle materie prime.

Il forte fabbisogno energetico per la fabbricazione delle infrastrutture fotovoltaiche, inoltre, comporta che ai previsti tassi di crescita della produzione di energia fotovoltaica, tutta la potenza fotovoltaica attualmente installata nel mondo non sembri in grado di fornire l'energia (priva di emissioni di gas-serra) necessaria alla produzione annuale di nuovi pannelli fotovoltaici: questo bilancio negativo di energia, e quindi di emissioni di gas-serra, sembra permanere, anche nelle ipotesi migliori, per diversi decenni, cioè finché la gran parte dell'energia elettrica non fosse fornita da fonti "carbon-free" (idroelettrica, nucleare, e poi la stessa fotovoltaica) (6).

Questa considerazione è particolarmente preoccupante quando si tenga conto che una frazione crescente dei pannelli fotovoltaici oggi installati in Italia viene importata dalla Cina, e quindi necessariamente è stata fabbricata con elettricità prodotta in gran parte da centrali a carbone, anche di tipo obsoleto. C'è quindi il rischio che le attuali grandi iniziative per l'installazione di pannelli fotovoltaici, mentre portano un contributo molto limitato alla fornitura di energia, costituiscano invece un fattore che aggrava le emissioni di gas-serra per molti anni a venire.

Sono poi da valutare accuratamente gli aspetti relativi alla introduzione di grandi impianti per le "nuove fonti rinnovabili" nelle strutture fisiche ed organizzative che producono e distribuiscono l'energia elettrica. Se da un lato per le nuove rinnovabili (sole, vento, ecc.) non esiste costo di combustibile, vi sono tuttavia sempre costi di gestione ed operazione degli impianti tutt'altro che trascurabili. Inoltre la vita utile degli impianti eolici e solari si stima intorno ai vent'anni, dopo di che diverrebbe necessario un nuovo investimento paragonabile a quello iniziale (mentre per le centrali a combustibili fossili la vita utile può arrivare a 40 anni, e per le nucleari anche a 60 anni).

Per quanto riguarda poi le fonti intermittenti e/o imprevedibili (ancora una volta, sole e vento), occorrerà installare quasi altrettanta potenza di tipo convenzionale (idroelettrica? a metano?) da tenere in "riserva calda", cioè pronta a subentrare nella fornitura di adeguata potenza alla rete per evitare disservizi all'utenza; questi impianti convenzionali ovviamente verranno sfruttati in misura non ottimale. La rete elettrica, infine, dovrà essere estesa ai bacini di produzione eolica e solare, quasi sempre molto lontani dai bacini di utenza, ed anche opportunamente potenziata e gestita in modo da sfruttare al meglio le varie fonti ed evitare instabilità e black-out. Si noti che tutti questi costi aggiuntivi spesso non appaiono tenuti in conto nei preventivi per gli impianti eolici e solari fotovoltaici.

3. L'alternativa nucleare

Può essere allora utile valutare una possibile opzione alternativa per investire quel miliardo di Euro, sempre al fine di ridurre l'emissione di gas-serra, come richiesto dalla Commissione Europea.

Ad esempio, la Regione Piemonte con quel finanziamento potrebbe contribuire per circa un terzo alla costruzione, anche in collaborazione con altre Regioni, di un impianto nucleare di III generazione da 1.500 MWe (ad esempio del tipo EPR-European Pressurized Water Reactor, della francese AREVA, oppure AP1000 della nippo-americana Toshiba-Westinghouse): si tratta di impianti che possono fornire fattori di carico che arrivano al 90%. Quell'impianto in un anno potrebbe quindi produrre: $1.500 \times 8.760 \times 0,9 = 11.826.000 \text{ MWh} = 11,826 \text{ TWh}$.

In questa ipotesi, il Piemonte, con un investimento di un miliardo di Euro, potrebbe disporre di un terzo di questa energia, e cioè di circa 4 TWh: *ben dieci volte l'energia ottenibile con lo stesso investimento in nuove fonti rinnovabili!*

Quei 4 TWh, in particolare, permetterebbero di ridurre di ben la metà le attuali importazioni dalla Francia di energia elettrica di origine nucleare utilizzata in Piemonte (che sono pari a $9/27 = 33\%$ dei consumi di energia elettrica del Piemonte). In alternativa, essi potrebbero essere aggiunti alle importazioni dalla Francia, portando il contributo nucleare per i consumi elettrici del Piemonte al $13/27 = 48\%$, con una conseguente sensibile riduzione della produzione da fonti fossili.

Se poi il Piemonte accettasse la installazione di impianti nucleari, ne basterebbero due da 1.500 MWe ciascuno (anche riuniti in una sola centrale) per fornire, come si è visto, fino a $12 \times 2 = 24 \text{ TWh}$ di energia elettrica all'anno (a fronte di un consumo del Piemonte di 27 TWh/anno). Questo livello di produzione richiede ovviamente che gli impianti nucleari lavorino praticamente a piena po-

tenza (a “tavoletta”) durante l’intero anno, cosa non facile data l’irregolarità della “curva di carico” durante la giornata, la settimana e le stagioni.

Tuttavia il Piemonte dispone di un grande patrimonio di antiche centrali idroelettriche a caduta, i cui bacini di alta quota, utilizzando la potenza nucleare nei periodi di eccesso rispetto alla richiesta, possono essere ricaricati mediante pompaggio dal basso di acqua, che così è poi disponibile per coprire le punte di richiesta di carico. Ciò permetterebbe al Piemonte di utilizzare l’energia nucleare ben oltre il carico di base, di incrementare fortemente la producibilità di antichi, ma preziosi, impianti idroelettrici, e di divenire quindi, in una decina d’anni, una delle poche regioni al mondo in grado di produrre praticamente tutta l’energia elettrica senza emettere gas-serra.

Inoltre, come risulta dalle statistiche di Terna (2), il Piemonte nel 2007 ha importato dalla Francia ben 16 TWh di energia nucleare, di cui quasi 7 TWh trasferiti ad altre Regioni italiane; cioè il Piemonte rappresenta un “corridoio” di passaggio di energia elettrica, con le note conseguenze di sovraccarico delle linee ad alta tensione esistenti (già inadeguate a smistare l’energia prodotta dalle centrali termoelettriche a ciclo combinato recentemente entrate in produzione). Quindi, un’ipotetica produzione in esubero di energia nucleare in Piemonte potrebbe essere utilmente trasferita ad altre Regioni, riducendone ulteriormente l’importazione dalla Francia, e portando in Piemonte il valore aggiunto derivante dalla costruzione e dalla gestione degli impianti di generazione (peraltro, del tutto privi di emissioni di gas-serra).

In una prospettiva più lontana, la disponibilità di energia elettrica da fonte nucleare potrebbe permettere di ridurre drasticamente anche la produzione di gas-serra dovuto al settore dei trasporti. Infatti la tendenza in questo settore, piuttosto che verso l’uso di combustibili alternativi, come i biocarburanti o l’idrogeno, sembra or-

mai chiaramente orientata verso lo sviluppo di veicoli stradali a trazione elettrica, parziale, come nelle attuali auto ibride, o totale.

Il prossimo stadio di sviluppo, successivo alle attuali auto ibride, è il veicolo ibrido-elettrico “a spina” (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV). Esso è munito di batterie di molto maggior capacità delle attuali (ma non necessariamente molto più pesanti): ad esempio, con batterie da 16 kWh e un consumo di circa 0,3 kWh per km e per tonnellata, sarà possibile aumentare la percorrenza puramente elettrica a qualche decina di km, e diverrà opportuno e conveniente ricaricare di notte dalla rete elettrica tali batterie in auto-rimessa o in parcheggio. In questo modo, tenuto conto che moltissime vetture non percorrono più di 20 o 30 km/giorno, una frazione anche molto rilevante della percorrenza degli autoveicoli potrà avvenire con alimentazione puramente elettrica, senza emissione di gas-serra sulla strada. La richiesta globale di carburanti petroliferi potrebbe così ridursi anche dal 30 al 50 per cento.

L'efficienza elettrica di un PHEV (dalla rete alle ruote) è molto buona (75-80%): ciò significa un rendimento del 25-30% a partire dall'energia primaria che alimenta le centrali elettriche. Dal punto di vista ambientale, ovviamente, il massimo vantaggio dei PHEV si ottiene se si eliminano le emissioni dannose non solo sulla strada, ma anche nella produzione dell'energia elettrica. In linea di principio anche le nuove fonti rinnovabili potrebbero essere considerate, ma la potenza elettrica aggiuntiva deve essere fornita di notte, e con la massima affidabilità e continuità. Quindi sole e vento non sembrano adatti, mentre appare particolarmente conveniente fare assegnamento su grandi impianti per carico di base, come gli idroelettrici ad acqua fluente e gli elettronucleari (che, tra l'altro, hanno un costo marginale bassissimo per il kWh notturno).

Di fatto, la grandi compagnie elettriche, dalla Electricité de France all'Enel, si stanno attivamente interessando alla possibilità di implementare reti di stazioni di servizio per la ricarica o la sostituzio-

ne delle batterie, a cominciare dalle grandi città. L'Enel ad esempio sta sviluppando sistemi di ricarica intelligenti, flessibili e adattabili alle diverse esigenze ed allo stile di vita degli utenti. La ricarica dei veicoli, infatti, avverrebbe prevalentemente di notte, e contribuirebbe quindi a "spianare" il diagramma di carico dei consumi elettrici, aumentandone il carico di base, e favorendo quindi gli impianti ad alto costo di investimento ed a funzionamento continuativo, come i nucleari.

Per una Regione come il Piemonte, appare ovvia l'opportunità di promuovere al più presto, in questo specifico settore, progetti dimostrativi basati su sinergie sistematiche tra compagnie elettriche, case automobilistiche ed amministrazioni operanti sul territorio, affinché vengano definiti consensualmente, anche a livello internazionale, i livelli di servizio e gli standard costruttivi. Se ad esempio in Piemonte circolassero un milione di PHEV, ciascuno dei quali richiederebbe una ricarica di 10 kWh al giorno da effettuare nelle ore notturne, basterebbe fornire loro in tali ore 10 milioni di kWh, cioè 10.000 MWh, cioè il lavoro notturno di un solo impianto nucleare da 1.500 MWe.

Un altro importante settore di consumo energetico (e di produzione di gas-serra) è il "residenziale – terziario" (circa un terzo del totale), per riscaldamento, condizionamento, acqua sanitaria, ecc. In questo settore, è senz'altro urgente ed opportuno realizzare degli interventi dimostrativi, mediante i quali illustrare concretamente le metodologie e le tecnologie innovative da introdurre nelle nuove costruzioni. Tuttavia, quando si tenga conto che gli edifici esistenti in Italia sono circa 13 milioni (suddivisi in 26,5 milioni di unità abitative occupate da 21 milioni di famiglie), e che il mercato delle abitazioni nuove è nell'ordine delle 100-150 mila unità abitative annue, in circa 70.000 edifici, pari a soltanto circa lo 0,6% dell'esistente, risulta chiaro che questa linea di intervento potrà avere un impatto di rilievo sui bilanci energetici nazionali soltanto a distan-

za di generazioni. Gli interventi per risparmio energetico sul patrimonio edilizio preesistente potranno essere anche relativamente più numerosi, ma ovviamente meno efficaci, e non cambiano di molto la prospettiva temporale, che in ogni caso va ben oltre la transizione critica per la dinamica del clima, prevista dai climatologi per il 2020-2030.

Nell'ipotesi invece di disporre di una fonte di energia elettrica "carbon-free" abbondante e continuativa, come la nucleare, si potrebbe perseguire anche in Italia (ed in Piemonte) la politica da decenni adottata nei paesi più evoluti (Svezia, Francia, ecc.), che tende a privilegiare l'uso dell'energia elettrica nelle abitazioni e negli edifici del terziario (anche al fine di ridurre i rischi di incidenti e di inquinamento tipici delle fonti fossili o delle biomasse). Anche in questo caso, mediante opportuni regimi tariffari e l'uso di contatori "intelligenti" (peraltro già diffusi in Italia), sarebbe possibile favorire il consumo nelle ore notturne, così da contribuire ulteriormente a "spianare" il diagramma di carico.

In proposito occorre invece notare che, mentre a livello europeo i consumi elettrici unitari per abitazione sono andati crescendo col tempo e col crescere dei redditi medi pro-capite, in Italia al contrario tale indicatore si posiziona non solo con un valore al di sotto della media ma con il valore più basso in assoluto. Tale fenomeno non sembra essere legato a variabili climatiche o di reddito quanto al fattore "prezzi elettrici" ed alla politica di tariffe particolarmente alte per le utenze domestiche con potenza impegnata superiore ai 3 kW. La sfida per l'Italia, quindi, non dovrebbe tanto essere quella di riportare il tenore di vita dei suoi cittadini all'inizio dello scorso secolo, quanto quella di potenziare adeguatamente la produzione di energia elettrica, possibilmente con fonti esenti da emissioni di gas-serra.

4. Conclusioni

Come risulta dalle statistiche regionali per l'energia elettrica di Terna (2), il Piemonte nel 2007 ha prodotto circa 15 TWh di energia termoelettrica, pari a circa il 70% del totale (il resto, circa 6 TWh, è praticamente tutta idroelettrica). Se si vuole ottemperare ai vincoli del Protocollo di Kyoto, ed a quelli presumibilmente molto più stringenti che seguiranno, gli interventi che appaiono più efficaci e tempestivi sono, come è noto, quelli sul mix di fonti per la produzione di energia elettrica. Il Piemonte dovrebbe quindi ridurre drasticamente la produzione termoelettrica, supponiamo da 15 a 7 TWh/anno, cioè generare altri 8 TWh/anno di energia "carbon-free" oltre alla idroelettrica.

Come abbiamo visto, il mix eolico-solare di cui all'intesa citata (1) fornirebbe 0,4 TWh con un investimento di un miliardo di Euro. Quindi, per ottenere con lo stesso mix quegli 8 TWh, occorrerebbe investire 20 miliardi di Euro! Con la stessa cifra si potrebbero costruire almeno cinque impianti nucleari da 1.500 MWe ciascuno, i quali potrebbero agevolmente produrre 50 TWh/anno.

Come già fatto notare, inoltre, la vita utile degli impianti eolici e solari si stima intorno ai vent'anni, dopo di che diverrebbe necessario un nuovo investimento paragonabile a quello iniziale. I nuovi impianti nucleari (di III generazione), invece, sono progettati per una vita utile di almeno 60 anni. Se il piano finanziario viene fatto su una adeguata prospettiva temporale, questi elementi favoriscono grandemente l'opzione nucleare per quanto riguarda la componente dell'investimento sul costo unitario dell'energia prodotta.

Per quanto riguarda poi le spese correnti, per le nuove rinnovabili (sole, vento, ecc.) evidentemente non esiste costo di combustibile, ma vi sono costi di gestione ed operazione degli impianti tutt'altro che trascurabili (ad es., da (3) risulta che in Italia per il 2007 i costi di operazione e manutenzione per l'energia eolica sono stati

dell'ordine di 12-13 Euro/MWh, cioè il 20% di un prezzo di mercato paria 60 Euro/MWh). Per l'energia nucleare, il Rapporto Energia e Ambiente 2007 dell'Enea (7) riporta un costo di operazione e manutenzione dell'ordine del 20% del costo unitario dell'energia, a cui va aggiunto il costo del combustibile, stimato ad un altro 20%; di questo 20%, tuttavia, soltanto un quarto (il 5%) è costituito dall'uranio (che per l'Italia deve essere di fatto importato dall'estero), mentre il resto è valore aggiunto inerente ad attività altamente qualificate ed in linea di principio fattibili in Italia, quali l'arricchimento, la fabbricazione, il ritrattamento e la gestione dei residui radioattivi. Come è noto, il Piemonte in proposito ha una lunghissima e valida tradizione, e dispone tuttora di preziose competenze ed infrastrutture, che potrebbero utilmente essere valorizzate e potenziate anche nella prospettiva di un rilancio dell'energia nucleare a livello nazionale.

Bibliografia

1. Si veda l'articolo di Paolo Rebbi sullo SPECIALE LA STAMPA "Piemonte Energia", pubblicato con LA STAMPA di martedì 29 luglio 2008.
2. <http://www.terna.it/>
3. IEA WIND ENERGY - Annual Report 2007 - July 2008 - ISBN 0-9786383-2-8.
4. Si veda la Tabella 8 del "Rapporto Energia e Ambiente 200" dell'ENEA, pubblicato nel luglio 2008.
5. A. Clò e S. Verde "20-20-20: il teorema della politica energetica europea" ENERGIA 4/2007.
6. Andy Black <andy@ongrid.net>, (408) 428-0808, www.ongrid.net "PV Energy Payback vs PV Input Energy due to Market Growth" (Presented at Solar World Congress 2005, Orlando, Florida, August 2005, to the American Solar Energy Society).
7. Si veda la Figura 35 del "Rapporto Energia e Ambiente 2007" dell'ENEA, pubblicato nel luglio 2008.

Il deposito definitivo dei materiali e rifiuti radioattivi

Piero Risoluti*

La complessità della realizzazione di un deposito geologico ed i costi associati (che sono dell'ordine dei miliardi di Euro) sono tali da rendere difficilmente praticabile tale soluzione per paesi che detengono quantitativi modesti di materiali ad alta attività (rifiuti a vita lunga o combustibili nucleari non ritrattati). Per questo comincia a farsi strada l'idea del ricorso ad un deposito geologico internazionale, di tipo regionale o continentale, destinato cioè ad accogliere i rifiuti a vita lunga di diversi paesi di una determinata area geografica, per i quali individualmente non sarebbe logico né giustificato destinare investimenti massicci per lo smaltimento dei piccoli quantitativi di rifiuti a vita lunga.

1. Origine e caratteristiche dei rifiuti radioattivi

I rifiuti radioattivi vengono prodotti in tutte le attività connesse con la produzione elettronucleare, cioè le operazioni della centrale stessa, i processi di lavorazione del combustibile nucleare e le relative attività di ricerca di base ed applicata.

Quantitativi limitati di rifiuti radioattivi, rispetto a quelli prodotti dall'industria e dalla ricerca nucleare, si generano nelle applicazioni della tecnologie nucleari in medicina, industria, agricoltura, ricerche ambientali, ecc (si tratta di materiali classificati in genere come *sorgenti*).

Dopo la produzione, i rifiuti radioattivi possono essere soggetti a vari trattamenti intermedi di tipo chimico e fisico diretti a ridur-

*ENEA

ne il livello di attività o semplicemente il volume, come la concentrazione nel caso dei liquidi o la compattazione nel caso dei solidi.

Lo stadio fondamentale della loro gestione è tuttavia il *condizionamento*, cioè la loro trasformazione in blocchi di materiale inerte e resistente, idoneo allo smaltimento.

La ricerca diretta alla segregazione degli effluenti radioattivi liquidi e solidi in materiali dotati di grande stabilità fisica e chimica, cominciata agli inizi degli anni '60, quasi in concomitanza con l'avvio dei primi reattori commerciali, ha portato alla identificazione e al definitivo sviluppo di due fondamentali processi di condizionamento, **la cementazione e la vetrificazione**, che hanno raggiunto la piena maturità tecnologica ed industriale negli anni '80.

I due processi, che consistono nell'inglobamento dei rifiuti in matrici cementizie o vetrose, sono applicati rispettivamente per i **rifiuti a bassa attività**, detti anche **a vita breve**, e per **quelli ad alta attività**, che a loro volta sono una categoria particolare di rifiuti **a vita lunga**¹.

Le ragioni per cui si cercò di specializzare processi e materiali così diversi vanno ricercate nella differenza, fondamentale ai fini della loro gestione e soprattutto dello smaltimento, che esiste fra le due tipologie di rifiuti.

I rifiuti a bassa attività sono quelli che contengono solo isotopi radioattivi a vita breve, e li contengono in bassa concentrazione, cioè al di sotto di un determinato limite.

Si considerano a vita breve i radioisotopi con tempi di decadimento - il tempo in cui il numero degli atomi radioattivi si dimez-

¹ Nella pratica operativa e talvolta nei sistemi nazionali e internazionali capita di trovare denominazioni particolari e classificazioni più articolate, le quali sono tuttavia in ultima analisi riconducibili alle due categorie fondamentali di vita breve e vita lunga, in quanto ad esse corrispondono due esigenze fondamentalmente diverse per lo smaltimento. Anche a scopo di semplificazione, faremo qui riferimento quindi a questa classificazione di base.

za - fino a trenta anni. In trecento anni, cioè in un periodo pari a dieci volte il loro tempo di decadimento, per una legge fisica il livello di radioattività di questi radioisotopi si abbassa di mille volte.

I rifiuti a bassa attività sono pertanto quelli in cui la concentrazione iniziale di radioisotopi è tale che l'abbassamento di mille volte comporta un loro quasi completo spegnimento, o comunque il raggiungimento di un livello minimo di radioattività a cui sono associate dosi non pericolose per l'uomo e l'ambiente, secondo i criteri di radioprotezione stabiliti dalle Organizzazioni internazionali. (Tali dosi, giova ricordarlo, sono di varie volte inferiori a quelle dovute alla radioattività naturale.) È per questo che i trecento anni vengono presi a base per stabilire i criteri per lo smaltimento dei rifiuti a vita breve.

Quando invece nei rifiuti sono presenti isotopi a vita lunga e/o isotopi a vita breve ma in grande concentrazione, i rifiuti sono classificati come rifiuti a vita lunga.

In questi rifiuti un esaurimento della emissione radioattiva, o la sua riduzione ai livelli di soglia considerati non pericolosi, si consegue soltanto dopo periodi che vanno dai millenni alle centinaia di migliaia di anni.

Nell'ambito dei rifiuti a vita lunga, quelli cosiddetti **ad alta attività**, che provengono in genere dal ritrattamento del combustibile irraggiato, possono essere caratterizzati da un contenuto termico elevato, dovuto alla intensa radiazione residua (a meno che non siano lungamente "invecchiati"). Per questo tipo di rifiuti un materiale cementizio, che al di sopra di una certa temperatura comincia a degradarsi, non è adeguato per il loro condizionamento. Ed è per questo che si è presa in considerazione la loro trasformazione in blocchi di vetro, materiale com'è noto altamente resistente al calore, oltre che praticamente inattaccabile da agenti chimici anche aggressivi (si sono trovati oggetti di vetro, peraltro di qualità rudimentale, in navi antiche affondate nei mari più di duemila anni fa). Vicever-

sa, per i rifiuti a vita lunga ma senza contenuto termico, come sono ad esempio quelli contenenti tracce di plutonio, in certi casi viene applicata la cementazione.

Resta da dire, per concludere questa schematica descrizione delle tipologie di rifiuti radioattivi, che quelli a bassa attività costituiscono in termini volumetrici circa il 95% dell'intera produzione. Quelli ad alta attività e/o a vita lunga contengono tuttavia nel loro 5% circa il 98% dell'inventario totale di radioattività.

2. Combustibile irraggiato e rifiuti radioattivi

Quando in una centrale elettrica convenzionale vengono bruciati gas naturale, olio minerale o carbone, i combustibili scompaiono quasi completamente, nel senso che finiscono quasi completamente in fumo.

Il combustibile che alimenta una centrale elettronucleare è viceversa un manufatto industriale, denominato elemento di combustibile, costituito da una struttura metallica contenente il materiale energetico (cioè il combustibile uranifero vero e proprio), che viene inserito nella caldaia per generare calore e scaricato, senza aver subito trasformazioni meccaniche, quando ha fornito un determinato quantitativo di energia.

Nell'elemento di combustibile nucleare durante la permanenza nel reattore si accumulano isotopi radioattivi di nuova formazione, sottoprodotti della reazione di fissione (i cosiddetti prodotti di fissione). Di tutta la radioattività artificiale generata dall'utilizzo dell'energia nucleare, il 98% circa si ritrova all'interno di questa struttura metallica costituita dall'elemento di combustibile che viene scaricata dal reattore quando ha prodotto l'energia termica. La restante frazione si ritrova quasi tutta nei rifiuti radioattivi prodotti direttamente dall'attività della centrale (prevalentemente nei sistemi di

purificazione dei circuiti idraulici che servono alla rimozione del calore prodotto), oppure nei processi di lavorazione del combustibile uranifero fresco diretti alla fabbricazione del combustibile nucleare destinato alla centrale, o nelle attività di ricerca. Per il 98% quindi, cioè quasi completamente, il problema della gestione dei rifiuti radioattivi è il problema della gestione del combustibile irraggiato.

È chiaro che, pur se non cambia l'inventario globale di sostanze radioattive che dovranno essere sistemate nell'ambiente esterno, la loro gestione si presenta assai diversa se l'elemento di combustibile che le contiene viene smaltito così com'è, oppure se viene sottoposto a ritrattamento, cioè in pratica tagliato in pezzi e lavorato chimicamente. Quello che nel primo caso rimane confinato nella struttura metallica dell'elemento, in caso di ritrattamento si ritrova distribuito in diversi flussi di materiale liquido e solido in uscita dall'impianto. Volumi, pesi e tipi di materiali finali da smaltire contenenti le sostanze radioattive, cioè i rifiuti propriamente detti, sono di conseguenza nei due casi completamente diversi.

Il problema più complesso dei rifiuti nucleari, di fatto il vero problema della gestione dei rifiuti radioattivi, è costituito da quelli a vita lunga, cioè da quei rifiuti che contengono concentrazioni importanti di radioisotopi i cui tempi di decadimento sono dell'ordine delle migliaia o delle decine di migliaia di anni.

Attualmente diversi paesi, tra cui gli USA, non ritrattano il combustibile irraggiato per separare i prodotti di fissione ed il plutonio prodotto, ma lo smaltiscono direttamente, in speciali contenitori, per cui per loro i rifiuti ad alta attività sono costituiti dallo stesso combustibile scaricato dalle centrali.

In caso di ritrattamento invece, i materiali di risulta vengono per effetto delle operazioni d'impianto ripartiti in rifiuti ad alta ed a bassa attività, cioè a vita breve.

3. Il Deposito definitivo

Due sono i principi che governano lo smaltimento delle scorie radioattive in un determinato sito di deposito definitivo: i manufatti condizionati vanno depositati in modo che *le sostanze pericolose che contengono non possano venire in contatto diretto o indiretto con la biosfera*, cioè con il mondo animale e vegetale circostante; questo contatto *deve essere escluso almeno per tutto il periodo in cui permane la pericolosità dei rifiuti*.

È questo secondo punto che determina la fondamentale differenza tra il deposito definitivo per rifiuti a vita breve e quello per rifiuti a vita lunga.

Come abbiamo visto, ai primi è sufficiente assicurare un periodo di isolamento dell'ordine dei trecento anni perché essi diventino radiologicamente innocui; per i secondi questo periodo può essere di decine o centinaia di migliaia di anni. Trecento anni sono un periodo che possiamo definire storico, diecimila o centomila anni sono un periodo geologico. Mentre è possibile provvedere mediante opere costruite dall'uomo ad un completo ed affidabile isolamento che duri per qualche secolo, per un isolamento che duri per periodi geologici bisogna ricorrere ad altro.

Nei due casi, ad ogni modo, l'isolamento dalla biosfera viene realizzato interponendo tra la sostanza pericolosa e l'ambiente esterno *un sistema di barriere* la cui funzione è di impedire la fuoriuscita degli isotopi radioattivi dal deposito in ogni circostanza prevedibile, incluse quelle di carattere incidentale. Siccome l'unico mezzo che può veicolare le sostanze radioattive verso l'esterno è l'acqua, attraverso un meccanismo di solubilizzazione o semplicemente di trascinamento, la funzione delle barriere del deposito è in pratica quella di prevenire che un qualsiasi mezzo acquoso, di qualsiasi origine, venga in contatto con i radionuclidi contenuti nei rifiuti condizionati, e comunque di impedire che, qualora per qualsiasi motivo questo

avvenga, non ci sia rilascio alla biosfera di livelli dannosi di dose di radioattività.

La prima di queste barriere è costituita dallo stesso manufatto solido prodotto con il processo di condizionamento, il cui materiale, come abbiamo visto, viene individuato e selezionato proprio per assicurare sia la segregazione delle sostanze radioattive che la sua resistenza ad agenti fisici e chimici esterni. La concezione e le strutture del deposito devono essere tali da fornire barriere supplementari interposte tra il manufatto e l'ambiente esterno.

La sicurezza del deposito sia nel breve che nel lungo periodo si basa quindi sull'affidabilità di queste barriere addizionali, la cui natura dipende ovviamente **da quanto a lungo dovrà essere mantenuto l'isolamento**. Pertanto, è il tipo di barriere che si predispongono a differenziare radicalmente un deposito per rifiuti a vita breve da quello per rifiuti a vita lunga. Per un deposito di rifiuti a bassa attività per il quale l'isolamento deve essere di durata secolare si usano barriere in calcestruzzo, ed il deposito si può costruire in superficie, o comunque in strati della litosfera prossimi alla superficie. Per quello a vita lunga, in cui si richiede un isolamento per periodi geologici, si usano come barriera giacimenti geologici profondi, che per le loro particolari proprietà possono dare le garanzie richieste.

Per entrambi i tipi di deposito, superficiale e geologico, è necessario dimostrare in sede di progetto che le barriere da predisporre diano le garanzie richieste, cioè che la loro *performance* sia adeguata per mantenere i rifiuti completamente isolati dalla biosfera per tutto il periodo considerato.

3.1. LO SMALTIMENTO IN DEPOSITI DI SUPERFICIE

O PROSSIMI ALLA SUPERFICIE

Nel caso del deposito superficiale si deve assicurare che la configurazione del deposito, da un punto di vista costruttivo, provveda

a interporre tra il manufatto e l'esterno barriere di isolamento, ed essere certi che il materiale impiegato, che è il calcestruzzo, conservi le proprietà per il tempo richiesto.

Il calcestruzzo, rinforzato o no, ha com'è noto proprietà meccaniche, idrauliche e chimiche che ne fanno un mezzo ideale per garantire una difesa non solo da infiltrazioni acquose anche massicce (si tratta infatti di un legante idraulico), ma anche da penetrazione o impatti meccanici. Una barriera in calcestruzzo, per essere impiegata in un deposito definitivo di rifiuti radioattivi, deve essere *qualificata*, secondo un procedimento la cui verifica costituisce parte essenziale del progetto e dell'iter autorizzativo del deposito. Qualificare barriere in calcestruzzo significa semplicemente individuare quella formulazione del conglomerato (malta cementizia, granulometria degli inerti, additivi, ferri, ecc.,) che sia in grado di assicurare la durabilità richiesta, e sottoporla a verifica mediante prove di vario tipo, incluse quelle cosiddette accelerate, che sono largamente usate e collaudate nella tecnologia del calcestruzzo.

Si costruiscono oggi con questo materiale opere ben più complesse e critiche a cui si richiedono vite di progetto secolari e livelli di sicurezza estremi, come grandi ponti ed edifici. (Uno dei casi più recenti è quello della copertura del nuovo padiglione del British Museum di Londra, il cui requisito progettuale è stato una *lifetime* minima di duecentocinquanta anni. Ma chi avesse dubbi sulla durabilità del calcestruzzo può pensare alla cupola del Pantheon, gettata all'epoca di Adriano, cioè verso il 150 dopo Cristo, e da allora mai nemmeno restaurata significativamente, la quale per di più fu costruita impiegando una malta idraulica rudimentale, ben diversa come qualità da quella che si ottiene con i cementi moderni).

Realizzare barriere in calcestruzzo con cui isolare in modo affidabile e sicuro dall'ambiente esterno i rifiuti radioattivi a vita breve, e per tutto il tempo necessario al loro decadimento, non presen-

ta quindi problemi tecnici particolari né dal punto di vista dei materiali né tanto meno da quello dell'ingegneria costruttiva.

Ed infatti centri di deposito di questo tipo ne esistono decine al mondo, praticamente in tutti i paesi, ad eccezione dell'Italia, che hanno fatto o fanno ricorso all'energia nucleare, e che quindi detengono quantitativi non trascurabili di scorie radioattive di bassa attività. Come sopra ricordato, circa il 95% delle scorie radioattive prodotte sono di questo tipo, per cui i paesi con produzione elettronucleare, anche modesta, dovranno smaltire quantitativi dell'ordine delle centinaia di migliaia di metri cubi. L'Italia, che pure non ha più produzione energetica nucleare, ne ha accumulati diverse decine di migliaia di metri cubi.

Le strutture di deposito per rifiuti a vita breve sono nella grande maggioranza dei casi realizzate in superficie. Esistono anche casi di depositi in caverna, realizzati comunque con i criteri di isolamento dalla biosfera di quelli di superficie, cioè mediante barriere artificiali (spettacolare è il deposito svedese, collocato sotto il mar Baltico a circa un chilometro dalla costa).

Nella sua configurazione più generale, un deposito superficiale è costituito da una successione di celle in calcestruzzo armato costruite fuori terra, in cui vengono depositati i manufatti. Tra le pareti esterne delle celle (che costituiscono la barriera più esterna), ed i manufatti, che sono come abbiamo visto la prima barriera, vengono interposti materiali isolanti, che in molti casi è ancora una malta cementizia, a costituire un ulteriore contenimento. L'insieme realizza quindi un sistema multibarriera (quello classico sopra descritto ne ha tre). La loro disposizione in serie garantisce la permanenza di una linea di contenimento nel caso di indebolimento o *defillance* della barriera antecedente.

Le celle vengono infine ricoperte con strati di terreno speciale, a sua volta dotato di proprietà impermeabilizzanti e/o assorbenti (ad esempio arricchito in argilla), con lo scopo sia di fornir-

re un'ulteriore protezione sia di ricostituire la morfologia iniziale dell'area. Uno schema concettuale della cella di deposito è mostrato nella figura 1.

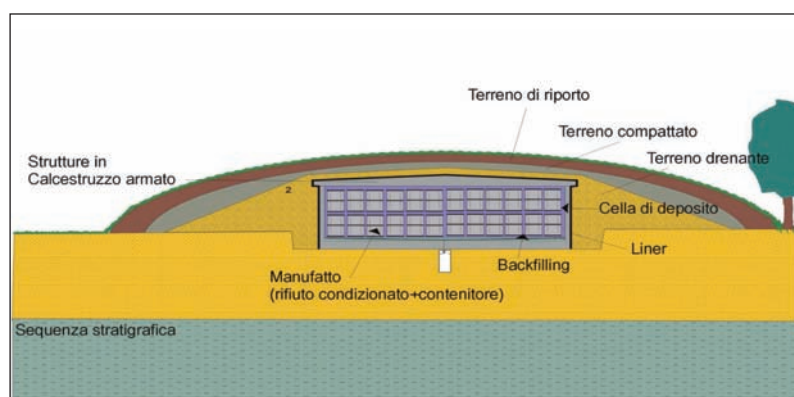


Figura 1: Schema concettuale delle barriere di un deposito di superficie

Oltre alle unità di deposito vere e proprie, un centro di smaltimento di questo tipo ospita normalmente installazioni ausiliarie costituite da stazioni di condizionamento locale dei rifiuti, laboratori di analisi e controllo, sistemi remotizzati di movimentazione e trasporto, edifici di servizio e amministrativi, un centro accoglienza, locali per il personale, ecc. L'insieme si configura quindi come un vero e proprio Centro tecnologico, sede di attività tecnicamente qualificate.

La figura 2 mostra una veduta del centro francese de l'Aube, situato nella regione Champagne-Ardennes.



Figura 2: Il centro di smaltimento dei rifiuti radioattivi a vita breve de l'Aube (Francia)

3.2. I DEPOSITI GEOLOGICI

Le formazioni geologiche adatte all'isolamento dei rifiuti a vita lunga sono formazioni che, per la loro natura ed origine, hanno caratteristiche di grande stabilità e soprattutto sono in grado di restare inalterate per periodi che si misurano nella scala dei tempi geologici, che sono appunto dell'ordine delle centinaia di migliaia o milioni di anni. È questo il requisito che assicura la *durabilità* della barriera. In secondo luogo, la roccia che funge da barriera deve essere impermeabile, e ovviamente restarlo per lo stessa scala temporale, onde evitare che un qualsiasi mezzo acquoso possa venire in contatto con i rifiuti.

Hanno questi requisiti alcuni giacimenti di rocce sedimentarie di cui c'è grande abbondanza sulla Terra, come i bacini salini, specie quelli di salgemma, formati in processi lunghissimi per l'evaporazione di oceani, e quelli argillosi. Presentano simili requisiti di idoneità anche altri particolari tipi di rocce cristalline, come i graniti non fratturati, che sono però non altrettanto dif-

fusi. I giacimenti salini costituiscono un mezzo che potremmo definire ideale. Essendo il sale (nella maggior parte dei casi si tratta di cloruro di sodio, lo stesso che si usa in cucina) altamente solubile, l'esistenza stessa del giacimento testimonia l'assenza di acqua da epoche geologiche, la cui scomparsa per evaporazione è infatti il fenomeno che ha permesso la formazione del giacimento. Formatosi in milioni di anni, esso è destinato a restare stabile per periodi dello stesso ordine di grandezza. Inoltre la roccia è abbastanza plastica, quindi in grado di assorbire, senza subire fratture, eventuali sollecitazioni tettoniche alla sua periferia. Anche i bacini argillosi presentano caratteristiche ugualmente favorevoli, per alcuni anzi superiori. Le argille infatti, oltre alle note caratteristiche di stabilità e impermeabilità, hanno proprietà di barriera geochimica, il che vuol dire che possono assorbire specie chimiche migranti, che nel lunghissimo periodo potrebbero fuoriuscire dal contenitore metallico.

Una volta individuato il giacimento che per composizione mineralogica, estensione, profondità e localizzazione geografica merita di essere preso in considerazione, inizia la fase di verifica e conferma della reale idoneità della formazione ad ospitare un deposito per rifiuti a vita lunga. È questa, per un deposito geologico, l'attività di *qualifica della barriera*. Si tratta di una fase che è destinata a durare molti anni. Per quella che è l'esperienza e acquisita fino ad oggi, dai venti ai trenta.

Per dimostrare l'efficienza e durabilità della barriera infatti, si sono infatti costruiti laboratori sotterranei, vere e proprie miniere sperimentali profonde centinaia di metri, con estensioni orizzontali che possono arrivare a qualche chilometro, scavate direttamente nel mezzo da indagare. Lo scopo è quello di verificare quale sarà il comportamento della barriera naturale in presenza dei materiali da depositare, di valutare i problemi di ingegneria mineraria connessi con la costruzione delle strutture di deposito, di verificare il livello di im-

permeabilità e diffusività e le proprietà chimiche e fisiche della roccia in esame, e la loro evoluzione in presenza dei rifiuti.

Istallazioni di questo tipo sono state costruite sin dagli anni '80 in Belgio, Germania, Svezia e Svizzera, USA. Un laboratorio sotterraneo è in attività in Francia dal 2005. In Germania è stata scavata ed operata per oltre dieci anni una vera e propria miniera sperimentale di grande estensione in giacimenti salini che sono tra i migliori (geologicamente) esistenti al mondo. La miniera, nel sito di Gorleben, in Bassa Sassonia, è mostrata in Fig. 3.



Figura 3: La miniera di sale di Gorleben, Germania

Le attività sperimentali in corso nei laboratori sotterranei sopra menzionati sono dirette, oltre che allo studio del comportamento *in situ* di materiali e strutture, anche alla validazione dei modelli matematici impiegati per le analisi. Con i codici sviluppati e verificati è così possibile calcolare quale può essere, ad esempio, il movimento del plutonio nel mezzo geologico dopo diecimila, centomila o un milione di anni.

Perché la barriera venga considerata idonea e qualificata, e quindi per essere autorizzata la costruzione del deposito, i calcoli devo-

no mostrare in sede di progetto che non si ha rilascio pericoloso per un dato periodo, che nei paesi europei si estende anche al milione di anni. In USA, fino al 2005 le analisi di lungo periodo si arrestavano ai diecimila anni. Attualmente, sotto la spinta delle contestazioni di associazioni ambientaliste, questo limite è stato portato a centomila anni.

Data la natura e la stabilità dei mezzi geologici, non è peraltro difficile dimostrare con i calcoli di cinetica che la migrazione eventuale dei radionuclidi attraverso la barriera geologica avviene con velocità infinitamente piccole, se ovviamente il mezzo geologico viene scelto di caratteristiche adeguate.

I depositi in profondità sono ancora nella fase di realizzazione pilota o di progetto o nei casi più avanzati. In USA è in esercizio dal Maggio 1999 il WIPP (*Waste Isolation Pilot Plant*), un impianto per lo smaltimento dei rifiuti a vita lunga plutoniferi prodotti nei centri del governo federale (cioè i rifiuti prodotti durante le produzioni di tipo militare). Il WIPP è praticamente il primo ed unico deposito di smaltimento geologico al mondo, anche se le sue finalità sono particolari e comunque non è destinato ai rifiuti radioattivi ad alta attività di tipo classico e di provenienza commerciale (rifiuti vetrificati o combustibile irraggiato).

Secondo le attuali previsioni, il primo deposito geologico di tipo commerciale dovrebbe essere quello svedese, la cui entrata in operazione è programmata per il 2018, seguito da quello finlandese previsto più o meno nello stesso periodo.

La complessità della realizzazione di un deposito geologico ed i costi associati (che sono dell'ordine dei *miliardi di Euro*) sono tali da rendere difficilmente praticabile una soluzione di questo tipo per paesi che detengono quantitativi modesti di materiali ad alta attività (rifiuti a vita lunga o combustibili nucleari non ritrattati).

Per questo comincia a farsi strada l'idea del ricorso ad un deposito geologico internazionale, di tipo regionale o continentale, de-

stinato cioè ad accogliere i rifiuti a vita lunga di diversi paesi di una determinata area geografica, per i quali individualmente non sarebbe logico né giustificato destinare investimenti massicci per lo smaltimento dei piccoli quantitativi di rifiuti a vita lunga.

Un soluzione del genere sarebbe anche ambientalmente più compatibile, se si considera la protezione dell'ambiente in una scala geografica più ampia di quella nazionale. Oltre a ciò, offrirebbe garanzie di sicurezza e di *security* superiori al caso di più depositi, specie se localizzati in una stessa area continentale.

La praticabilità sociale e politica di una simile soluzione costituisce tuttavia, nella presente fase storica, il problema più importante, in considerazione della difficile accettazione sociale che incontra la localizzazione di tali depositi.

4. La situazione italiana

I rifiuti radioattivi prodotti in Italia sono attualmente tutti immagazzinati negli stessi siti in cui furono prodotti. Per tutti sono in corso le operazioni di condizionamento, cioè la loro trasformazione in manufatti durevoli atti al deposito definitivo.

I rifiuti condizionati già prodotti e quelli in via di produzione dovranno continuare tuttavia ad essere custoditi presso gli stessi siti, fin quando non esisterà in Italia un centro in cui trasferirli per il loro deposito definitivo.

Le operazioni di smantellamento fisico delle centrali e degli impianti e laboratori dismessi a loro volta produrranno quantitativi ancora più importanti di rifiuti. Oltre a ciò, sono state prodotte e continueranno ad esserlo in futuro quantitativi minori ma comunque significativi (dell'ordine delle centinaia di metri cubi/anno) di rifiuti provenienti dall'impiego di radioisotopi in medicina, nella ricerca biomedica e nell'industria convenzionale.

Il quantitativo di rifiuti radioattivi che verranno prodotti in Italia al termine dello smantellamento degli impianti esistenti è stimato attualmente in circa 90.000 m³. La maggior parte di essi (circa il 95% in termini volumetrici) è costituita da quelli a vita breve (II Categoria, secondo la classificazione italiana). Si tratta di rifiuti che possono essere smaltiti in un deposito superficiale del tipo di quelli descritti in precedenza.

I rifiuti a vita lunga italiani (definiti di III Categoria) sono in quantitativi modesti, tali da non giustificare la predisposizione di un sito di smaltimento geologico nazionale, anche per i costi ingentissimi che esso comporta, come sopra ricordato. L'inventario di tali rifiuti, riferito alla presente situazione, è costituito da qualche centinaio di contenitori con rifiuti vetrificati che ritorneranno in Italia dal ritrattamento del combustibile all'estero e da qualche migliaio di metri cubi di rifiuti cementati.

In mancanza di un sito geologico di smaltimento, per questi materiali viene usualmente previsto, dai paesi che detengono quantitativi modesti di questo tipo di materiali radioattivi, un immagazzinamento di lungo periodo (50-100 anni) in strutture impiantistiche appositamente costruite. Questo sistema di *interim storage* consente di posporre una soluzione definitiva, che potrà quindi tener conto di vari fattori (quali l'evoluzione della produzione nazionale, la possibilità di collaborazioni internazionali, lo stato della tecnologia, ecc).

Il problema principale che si pone attualmente in Italia è costituito dal reperimento di un sito per la localizzazione di un deposito nazionale centralizzato per tali materiali. La risoluzione di questo problema non è solo un'esigenza di carattere operativo (senza poter evacuare i rifiuti dopo il loro condizionamento le installazioni dismesse non potranno essere completamente smantellate), ma deve anche essere considerata un requisito importante in vista della ripresa del nucleare in Italia. È noto infatti che le preoccupazioni diffuse tra il pubblico circa gli effetti ambientali dell'energia nucleare, che

condizionano oggi più o meno in tutti i paesi il ricorso a questa fonte energetica, riguardano principalmente la destinazione delle cosiddette scorie. **In Italia, paese che più degli altri ha risentito di questa situazione, provvedere alla sistemazione dei rifiuti prodotti in passato sarebbe un chiaro segno della volontà e capacità del paese di risolvere questo problema.**

4.1. IL DECRETO MINISTERIALE DEL 25 FEBBRAIO 2008

Azioni dirette alla individuazione di un sito per la localizzazione di un Deposito Nazionale per i materiali radioattivi sono state avviate nel Febbraio del 2008 con un Decreto del Ministro dello Sviluppo Economico. Il Decreto ha stabilito la costituzione di un **Gruppo di Lavoro misto Stato-Regioni incaricato di individuare e proporre entro un periodo di sei mesi, una procedura partecipativa e consensuale per la scelta del sito.**

Il Gruppo è stato costituito da rappresentanti di 3 Ministeri (Sviluppo Economico, Ambiente, Salute), di ENEA ed APAT (ora ISPRA), di 6 Regioni: Piemonte, Lombardia, Veneto, Marche, Campania, Basilicata.

Oltre alle indicazioni relative alla procedura di tipo consensuale e partecipativo, il Decreto stabiliva inoltre importanti elementi di *policy*, e cioè:

- che su un unico sito nazionale venissero localizzati 1) un deposito definitivo di tipo superficiale per i rifiuti a bassa attività; 2) un sistema di immagazzinamento di lungo periodo per i rifiuti ad alta attività (III Categoria);
- che sullo stesso sito venisse realizzato un Centro di attività scientifiche e tecnologiche di alto livello, di tipo convenzionali, allo scopo di promuovere, con gli investimenti richiesti, l'interesse delle Amministrazioni Locali all'insediamento

Compito assegnato al Gruppo era la proposta di una procedura concordata con le Regioni e la caratterizzazione del Deposito Nazionale e delle altre installazioni del Centro.

Il Gruppo di lavoro ha consegnato al Ministro il Rapporto Finale il 25 Settembre scorso. I principali punti della proposta formulata al Ministro, relativamente alla procedura per la scelta del sito, possono essere così riassunti:

- Creazione di una Agenzia nazionale incaricata alla gestione finale dei rifiuti radioattivi;
- Individuazione, mediante Sistemi Informativi Geografici avanzati (GIS), delle aree idonee sul territorio nazionale sulla base dei requisiti stabiliti dall'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (IAEA)
- Comunicazione dei risultati alle Regioni e agli Enti locali con aree idonee, e loro invito ad un Seminario Nazionale a carattere informativo sul Centro da realizzare;
- Invito alle Regioni con aree idonee a presentare *manifestazioni di interesse*;
- Istituzione di meccanismi di garanzia, partecipazione e assistenza finanziaria alle Regioni che manifestano interesse;
- Negoziato bilaterale con Regioni e Enti locali che manifestano interesse;
- Se c'è accordo, avvio della caratterizzazione del sito.

Il Gruppo di Lavoro ha altresì formulato proposte in ordine al riordino della normativa nazionale riguardante la gestione dei rifiuti radioattivi e la realizzazione del deposito, in quanto le attuali norme non prevedono una procedura partecipativa per l'individuazione del sito né consentono un iter autorizzativo con tempi prevedibili.

4.2. POSSIBILE EVOLUZIONE DELLA PRODUZIONE DI RIFIUTI IN ITALIA

L'eventuale costruzione di nuove centrali nucleari in Italia comporterebbe anche un aumento della produzione sia di rifiuti radioattivi che di combustibile irraggiato. Escludendo in ogni caso un ricorso massiccio alla produzione nucleare, ed ammettendo in via ipotetica l'istallazione nel medio periodo di 10.000 Mw(e), sull'entità di tale produzione si possono fare le seguenti considerazioni:

- la produzione di rifiuti a bassa attività (vita breve), per un periodo di funzionamento delle centrali di 50 anni, si può stimare in un quantitativo massimo di 150.000 m³. Considerando la produzione dovuta al successivo smantellamento, la quantità totale di rifiuti a bassa attività si può stimare in 300.000 m³;
- con le stesse ipotesi, e prescindendo, in quanto non definibile attualmente, dalla *policy* di gestione del combustibile irraggiato (cioè ritrattamento o meno), per i rifiuti ad alta attività (combustibili o vetrificati ed altri rifiuti a vita lunga) si può ipotizzare una produzione di circa 15.000 tonnellate

Si tratta di quantitativi che non modificano significativamente, in termini di impatto ambientale e dimensionamento del sito, le esigenze di smaltimento per i rifiuti a vita breve e di immagazzinamento per quelli a vita lunga che sono state indicate per i quantitativi di materiali derivanti dalle passate attività. Pertanto, un sito di deposito individuato sulla base dell'attuale inventario può essere adeguato senza problemi a future produzioni.

I depositi per rifiuti a vita breve, sul tipo di quelli esistenti o previsti in Francia, Spagna, Svezia, Germania, Giappone ed altri paesi, sono stati peraltro predisposti per una capacità di diverse centinaia di migliaia di metri cubi, pur avvenendo la costruzione per successive estensioni, in base alle esigenze e secondo un criterio modu-

lare. Anche il sistema di immagazzinamento dei materiali ad alta attività non cambia significativamente in termini dimensionali, e comunque nell'estensione temporale considerata (almeno 50 anni) dovrebbe poter maturare una soluzione per lo smaltimento geologico, sia essa nazionale o internazionale.

Gestione dei rifiuti radioattivi

Francesco Troiani*

La corretta gestione dei rifiuti radioattivi è molto importante nella definizione ed attuazione del programma di smantellamento degli impianti nucleari obsoleti. Tale operazione implica la produzione e la movimentazione di notevoli quantità di materiali di diverse caratteristiche (metalli, materiali di demolizione, materiali di isolamento) e dimensioni e con un diverso contenuto di radioattività. Non è pensabile, pertanto, che un programma di smantellamento possa essere efficace senza aver ben definiti ed implementati i processi e le strategie per la gestione dei rifiuti radioattivi, in particolare il loro smaltimento.

1. I rifiuti radioattivi

Il rifiuto radioattivo è un “materiale radioattivo in forma solida, liquida o gassosa per il quale non è previsto alcun ulteriore uso e che è tenuto sotto controllo come rifiuto radioattivo dall'autorità di controllo a ciò preposta”. Così lo definisce la *Convenzione congiunta sulla sicurezza della gestione del combustibile nucleare esaurito e dei rifiuti radioattivi* (Joint Convention), gestita dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica e ratificata dall'Italia agli inizi del 2006.

Sembrerebbe una definizione non immediatamente applicabile o addirittura ambigua, ma non è così, si tratta solo di stabilire su quali elementi si basa l'autorità di controllo per distinguere un “rifiuto radioattivo” da un rifiuto convenzionale non radioattivo.

La necessità di stabilire detti elementi deriva dal fatto che la radioattività, caratteristica principale dei rifiuti radioattivi, è diffusa

* Presidente NUCLECO S.p.A., Dirigente ENEA

dovunque nell'ambiente ed a livelli molto variabili: nei terreni, nelle acque, nell'aria, nei materiali da costruzione, negli alimenti, nelle acque potabili, negli oggetti della vita quotidiana. Si tratta della cosiddetta "radioattività di fondo naturale".

Anche gli esseri viventi sono radioattivi, contengono elementi come il Carbonio-14, il Potassio-40 e molti altri elementi radioattivi naturali nella struttura della materia biologica che li compone.

La radioattività può causare danni sia all'ambiente sia alla salute degli organismi viventi, da cui la necessità di stabilire i livelli minimi, al di sotto dei quali non si riscontrano danni per l'uomo e l'ambiente. I materiali che contengono radioattività al di sopra di tali livelli, che sono fissati attraverso la normativa tecnica e di legge, sono considerati radioattivi e se si tratta di un rifiuto sarà classificato come rifiuto radioattivo, quindi mantenuto sotto controllo dall'autorità a ciò preposta ed isolato dall'ambiente con opportuni ed efficaci sistemi.

Risulta, quindi, immediatamente evidente che l'accertamento del contenuto di radioattività di qualsiasi materiale radioattivo, in particolare dei rifiuti radioattivi, così come la misura di altri parametri che ne definiscono le caratteristiche, è di fondamentale importanza per stabilire il pericolo ad esso associato, le successive fasi di trattamento ed il suo destino finale.



*Figura 1:
Caratterizzazione
rifiuti radioattivi*

2. Caratterizzazione, condizionamento e classificazione

La “caratterizzazione” è una delle fasi più importanti dell’intero processo di gestione dei rifiuti radioattivi.

Attraverso il processo di caratterizzazione si riesce a stabilire le caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e meccaniche del rifiuto, il suo contenuto di radioattività (figura 1), la resistenza agli agenti che ne possono ridurre la stabilità e rendere la radioattività libera di fuoriuscire e disperdersi nell’ambiente.

L’accertamento delle caratteristiche dei rifiuti radioattivi, quindi, permette di prevedere il loro comportamento futuro, sia in condizioni normali sia in condizioni accidentali e di stabilire se sono necessari e in quale misura ulteriori trattamenti.

Altra prerogativa della radioattività è che essa diminuisce nel tempo, al contrario di analoghi fattori di pericolosità che qualificano i rifiuti industriali pericolosi, quali ad esempio i metalli pesanti, l’amianto, etc. Ciascun elemento radioattivo è caratterizzato da un “tempo di dimezzamento” entro il quale la sua radioattività si riduce della metà.

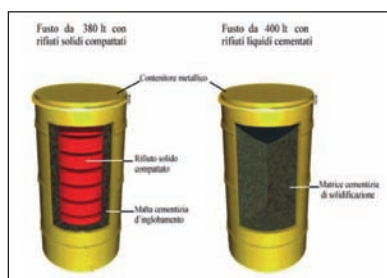
Con il passare del tempo, dunque, il fenomeno del “decadimento radioattivo” riduce, fino a valori trascurabili, il contenuto di radioattività di qualunque materiale radioattivo, quindi anche dei rifiuti. Ne consegue che, prima o poi, un rifiuto radioattivo diventa un rifiuto “normale”, cioè non più radioattivo.

Dopo la loro produzione, i rifiuti radioattivi sono temporaneamente stoccati e caratterizzati, per essere poi sottoposti a “condizionamento”, ovvero specifici trattamenti chimici e fisici, diversi a seconda del tipo di rifiuto, per la loro trasformazione in una forma solida stabile e duratura (figura 2), che ne permetta in modo sicuro la manipolazione, lo stoccaggio, il trasporto e infine lo smaltimento.

Il rifiuto condizionato è quindi un manufatto costituito dal materiale solido, in genere cemento o vetro, inglobante la radioattività e dal contenitore esterno in acciaio o leghe speciali.

I rifiuti radioattivi, a seguito del processo di caratterizzazione, sono classificati in diverse categorie, in base al contenuto di radionuclidi, alla loro origine, allo stato fisico, al tipo di radiazione emessa (alfa, beta, gamma), al tempo di dimezzamento dei radionuclidi presenti, oppure in base alle modalità di gestione adottate o alla loro destinazione finale.

Per i rifiuti condizionati ai fini dello smaltimento finale, i criteri principali di classificazione sono il contenuto di radioattività, che determina il livello di protezione richiesto e il tempo di dimezzamento dei radionuclidi contenuti, che definisce il periodo di tempo per il quale deve essere garantito l'isolamento dall'ambiente esterno.



*Figura 2:
Rifiuti radioattivi
condizionati*

La normativa tecnica di riferimento italiana è la Guida Tecnica n. 26 dell'autorità di controllo, che stabilisce tre categorie di rifiuto radioattivo ed alla quale si deve far riferimento per la gestione, il condizionamento e lo smaltimento dei rifiuti radioattivi.

Appartengono alla I categoria i rifiuti con basso contenuto di radioattività e che decadono in tempi dell'ordine di mesi o al massimo di qualche anno. Per questa tipologia di rifiuti è sufficiente la conservazione in sicurezza ed attendere il decadimento della radioattività a valori trascurabili, dopodiché possono essere gestiti come rifiuti convenzionali o speciali.

I rifiuti di II categoria sono quelli a contenuto medio di radioattività e che decadono in tempi dell'ordine delle decine o centinaia di anni. Per i rifiuti di questa categoria è necessario predisporre opportune strutture tecniche per la loro conservazione ed isolamento dall'ambiente per un periodo di circa 3-4 secoli (smaltimento superficiale).

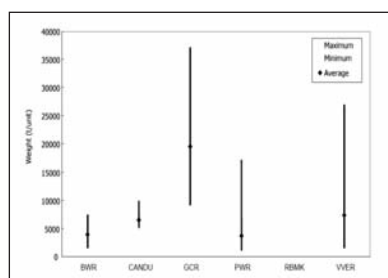
Appartengono, infine, alla III categoria i rifiuti che decadono in tempi dell'ordine delle migliaia o centinaia di migliaia di anni. Per questi rifiuti l'isolamento dall'ambiente deve essere garantito da strutture naturali stabili (smaltimento geologico), in quanto le opere ingegneristiche realizzate dall'uomo non forniscono sufficienti garanzie di così lunga durata.

3. Origine dei rifiuti radioattivi

I rifiuti a bassa attività (I categoria) provengono generalmente da installazioni nucleari, applicazioni medicali, industria, ricerca scientifica e includono materiali contaminati quali: carta, stracci, indumenti protettivi, filtri, liquidi vari (soluzioni acquose o organiche), etc. L'esercizio di reattore nucleare di potenza genera mediamente circa 200 m³ all'anno di rifiuti appartenenti a questa categoria. Il più importante contributo, però, proviene dallo smantellamento degli impianti nucleari a fine vita.

I rifiuti a media attività (II categoria) provengono generalmente da centrali nucleari, impianti del ciclo del combustibile (fabbricazione del combustibile, impianti di ritrattamento del combustibile irraggiato, installazioni di ricerca, etc.). Essi includono generalmente scarti di lavorazione, rottami metallici, liquidi vari, fanghi, resine esaurite. L'esercizio di reattore nucleare di potenza genera mediamente circa 100 m³ all'anno di tali rifiuti, ma un significativo contributo proviene anche dallo smantellamento degli impianti nucleari obsoleti.

I rifiuti ad alta attività (III categoria) contengono la maggior parte dei prodotti di fissione e dei transuranici prodotti nel reattore. Sono tipicamente rifiuti ad alta attività: il combustibile irraggiato esaurito, come tale se non è ritrattato (strategia dello smaltimento diretto), oppure i liquidi acquosi del primo ciclo di estrazione, se il combustibile è soggetto a ritrattamento. L'esercizio di un reattore nucleare di potenza genera circa 30 tonnellate all'anno di combustibile irraggiato esaurito e, nel caso di ritrattamento, questo quantitativo corrisponde a circa 4 m³ di prodotti della vetrificazione dei rifiuti liquidi ad alta attività.



*Figura 3:
Rifiuti radioattivi
prodotti dallo
smantellamento
delle centrali nu-
cleari (fonte:
OCSE-AEN)*

La maggior parte dei rifiuti radioattivi, tuttavia, è prodotta durante la fase di smantellamento degli impianti nucleari e si tratta prevalentemente di rifiuti a bassa e media attività. In uno studio abbastanza recente (2003) l'Agenzia per l'Energia Nucleare dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, in base all'esperienze maturate dagli operatori dei paesi membri, ha stimato il quantitativo di rifiuti che si produce durante tale fase (figura 3), per ciascun tipo di centrale nucleare.

Detti quantitativi sono molto variabili e dipendono dal regime regolatorio in atto in ciascun paese, dalle condizioni al contorno, dalla dimensione degli impianti da smantellare, sia in termini geometrici sia in termini di potenza installata, dai materiali di costruzio-

ne utilizzati e dalla loro messa in opera, dal combustibile nucleare utilizzato, dal *burn up* raggiunto, etc.

I rifiuti radioattivi da smaltire, in generale, sono una piccola parte dei rifiuti industriali pericolosi ed in ogni caso ci si riferisce normalmente a rifiuti condizionati, tranne il caso di alcune tipologie di rifiuti solidi a bassissima attività che non necessitano di condizionamento per lo smaltimento.

La loro produzione mondiale annua ammonta a circa 0,4 milioni di tonnellate, mentre i rifiuti industriali pericolosi prodotti sono circa a 400 milioni di tonnellate l'anno ed includono componenti molto tossici per gli organismi viventi e l'ambiente.

Regione	Rifiuti radioattivi		Sorgenti dismesse	Combustibile irraggiato	TOTALE
	Attività 10 ⁹ Bq	Volume m ³	Attività 10 ⁹ Bq	Attività 10 ¹² Bq	Attività 10 ¹² Bq
Piemonte	4.967.681	3.968	4.519	289.423	294.395
Lombardia	56.758	3.269	130.367	3.694	3.881
Emilia Romagna	2.258	4.070	36.015	1.360.000	1.360.002
Lazio	79.588	5.790	587.695	5	672
Campania	444.027	2.625			444
Toscana	14.503	350	419.000	0,005	434
Basilicata	273.985	3.646	37	21.500	21.774
Molise	39	104	0		0,04
Puglia	238	1.140	1,46		0,24
Sicilia	0,83	2,64	0		0,001
TOTALE	5.839.077	24.964	1.141.655	1.674.622	1.681.602
Fonte: APAT					

Figura 4: Inventario Nazionale dei rifiuti radioattivi, delle sorgenti dismesse e del combustibile irraggiato per regione di ubicazione (APAT - 2005)

I rifiuti radioattivi prodotti in Italia e stoccati sugli impianti o nei depositi temporanei, in attesa di essere smaltiti, nel 2005 ammontavano a circa 25 mila metri cubi (figura 4), ai quali andranno a sommarsi, nei prossimi 10-20 anni, alcune altre decine di migliaia di metri cubi, derivanti dal programma di smantellamento delle vecchie centrali. Anche il comparto della ricerca, medico-ospedaliero

ed industriale contribuirà con diverse centinaia di metri cubi l'anno ad incrementare detti quantitativi.

La maggior parte dei rifiuti radioattivi che saranno prodotti dalle attività di smantellamento, circa il 95%, sono rifiuti solidi a bassa e media attività (II categoria). Il restante 5% è rappresentato dai rifiuti ad alta attività e lunga vita (III categoria), di diversa tipologia a seconda della scelta relativa alla gestione del combustibile irraggiato.

4. Gestione a lungo termine

La strategia per la gestione a lungo termine dei rifiuti radioattivi è di primaria importanza per tutti quei Paesi che hanno sviluppato in passato attività e programmi nucleari e che oggi stanno quindi affrontando il compito dello smantellamento dei vecchi impianti giunti a fine vita.

La problematica è resa ancor più urgente specialmente per quei paesi, come l'Italia, che stanno rivedendo la propria politica a favore del cosiddetto "rinascimento nucleare".

L'opinione pubblica ha in più circostanze espresso una maggiore propensione ad accettare la costruzione di nuove centrali nucleari se contestualmente si dimostra di sapere affrontare con efficacia e sicurezza il problema dello smaltimento delle scorie radioattive.

La ricerca del consenso dell'opinione pubblica, per consentire tutte le azioni necessarie alla messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi, è ovunque considerata una priorità. L'Agenzia per l'Energia Nucleare dell'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico ha istituito da alcuni anni un "*Forum on Stakeholder Confidence*", che ha lo scopo di scambiare informazioni ed esperienze in tale ambito. Il *Forum* è oggi maggiormente orientato alla tematica dello smaltimento dei rifiuti ad alta attività e lunga vita, dal momen-

to che lo smaltimento delle altre categorie di rifiuti è già un'operazione di routine in quasi tutti i paesi che producono rifiuti radioattivi.

La corretta gestione dei rifiuti radioattivi è, inoltre, molto importante nella definizione ed attuazione del programma di smantellamento degli impianti nucleari obsoleti. Tale operazione implica la produzione e la movimentazione di notevoli quantità di materiali di diverse caratteristiche (metalli, materiali di demolizione, materiali di isolamento) e dimensioni e con un diverso contenuto di radioattività. Non è pensabile, pertanto, che un programma di smantellamento possa essere efficace senza aver ben definiti ed implementati i processi e le strategie per la gestione dei rifiuti radioattivi, in particolare il loro smaltimento.

La gestione delle attività di smantellamento delle vecchie centrali nucleari e la gestione dei rifiuti radioattivi in definitiva sono temi strettamente interconnessi tra loro e richiedono una strategia nazionale globale, definita con il contributo di competenze tecniche, scientifiche, amministrative e politiche.

Dal punto di vista tecnico le esperienze di smantellamento già condotte a livello internazionale permettono di selezionare le tecniche più opportune di trattamento e condizionamento dei rifiuti, già applicate con successo a livello internazionale ad un numero molto elevato di vecchi impianti, così pure le esperienze maturate nello smaltimento dei rifiuti radioattivi, in un centinaio ed oltre di impianti a livello internazionale, costituiscono degli esempi molto importanti per la soluzione della problematica italiana.

L'implementazione in Italia delle procedure e metodologie, applicate a livello internazionale, ci potrà permettere di liberare agevolmente i vecchi siti nucleari dai rifiuti prodotti e, quindi, rilasciarli ad altri usi o al cosiddetto "prato verde".



La formazione delle risorse umane per l'energia nucleare in Italia

Giuseppe Forasassi*

La ricerca universitaria ha contribuito allo sviluppo ed all'aggiornamento delle conoscenze anche nel settore dell'Ingegneria Nucleare in Italia, essendo la ricerca una delle attività proprie e dei compiti dell'Università in tutti i Paesi sviluppati a far tempo dalla creazione delle Università stesse come Istituzione.

1. Premessa

Le tecnologie nucleari hanno numerosi impieghi ed applicazioni in numerosi campi come l'industria, la medicina (diagnostica, terapia, sviluppo di farmaci e presidi, etc.), la ricerca scientifica in vari settori, oltre all'impiego energetico come fonte alternativa alle fonti fossili, in particolare per la realizzazione delle grandi unità di potenza per la produzione di energia elettrica.

Attualmente per le applicazioni energetiche suddette il Nucleare da fissione costituisce da tempo una tecnologia ormai pienamente matura, dopo più di 50 anni di applicazioni industriali in tutto il mondo.

Pertanto questa tecnologia è soggetta ad una continua evoluzione tecnica e scientifica (come tutte le tecnologie avanzate e sofisticate che sono naturalmente oggetto di uno sviluppo continuo) essenzialmente allo scopo di ottimizzarne l'impiego in termini di efficienza, riduzione dei costi, miglioramento della comprensibilità e (quindi) anche l'accettabilità da parte di un pubblico sempre più vasto, cosa quest'ultima particolarmente rilevante per il nucleare.

*Presidente CIRTEN, Università di Pisa

Si può quindi dire che in particolare nel caso del nucleare questa evoluzione è essenzialmente di tipo pratico applicativo ed ingegneristico in cui gli ingegneri nucleari rivestono, attualmente ed anche in prospettiva, un ruolo molto importante che investe tutte le fasi del processo produttivo. D'altra parte lo stesso Fermi dopo la criticità della Pila CP-1 affermò che il processo poteva essere ormai affidato agli Ingegneri...

In Italia il mantenimento ed aggiornamento della formazione superiore nel settore nucleare, per gli aspetti di base ed applicativi dell'Ingegneria (e della Fisica), sono affidati alle Università italiane, pur con importanti integrazioni ed apporti, soprattutto per aspetti specialistici ed applicativi "post lauream", degli Enti di Ricerca (ENEA, INFN e CNR e di importanti Istituzioni internazionali) e dell'Industria.

2. L'ingegneria nucleare in Italia

I Corsi di Laurea (CdL) in Ingegneria Nucleare (I.N.) in Italia sono stati istituiti nel periodo compreso fra il 1960 ed il 1966 in sei Atenei (i Politecnici di Milano e Torino e le Università di Bologna, Palermo, Pisa e Roma), come sviluppo di Corsi di Specializzazione specifici o Corsi di Indirizzo in altri Corsi di Laurea preesistenti. In altri Atenei vengono tuttora insegnate materie del settore nucleare come parte di Indirizzi fisico-energetici di altri CdL in Ingegneria, senza l'attivazione di un Corso di Laurea specifico.

2.1. PIANO DI STUDI DI CUI AL DPR 20/05/1989

Il CdL in Ingegneria Nucleare era inizialmente articolato su 5 anni di corso con:

- a) *9 insegnamenti annuali* (da circa 100-120 h di insegnamento) comuni a tutti i CdL in Ingegneria dei quali 4 di matematica, 2 di Fisica, 1 di Chimica, 1 di Informatica, 1 di Economia.
- b) *6 annualità di tipo comune* ai CdL in *Ingegneria Industriale* con materie come Scienza delle Costruzioni, Meccanica Applicata, Fisica Tecnica, Elettrotecnica, Macchine, Scienza/Tecnologia dei Materiali e della Produzione.
- c) *6 annualità specifiche del CdL in Ingegneria Nucleare*, con Fisica Nucleare e quella dei Reattori Nucleari, Impianti Nucleari, Eletttronica, Controlli, Misure Nucleari, Progettazione e Costruzione di Macchine.
- d) *6-9 annualità per completare il piano di studi* per insegnamenti (da 3 a 4 Corsi) obbligatori sul piano delle singole Facoltà ed insegnamenti (ancora da 3 a 5 Corsi annuali) degli Indirizzi o Orientamenti a scelta dello Studente.

Sui “curricula” suddetti, corrispondenti a circa 20 corsi annuali comuni per l’Ingegneria Industriale e 10 specifici per quella Nucleare, si è articolata la preparazione dei Laureati in I.N. fino al 2004-2006.

2.2. PIANO DI STUDI ATTUALE (ATTIVO IN TUTTE LE SEDI PER LO PIÙ DALL’ANNO ACCADEMICO 2000-2001)

Il Piano di studi attuale si articola su due Corsi di Laurea successivi, di 3 e 2 anni rispettivamente, per complessivi 26 corsi di profitto annuali, equivalenti da 10 a 12 Crediti cadauno (1 Credito = circa 25 h di impegno didattico), per un totale di 300 Crediti e precisamente:

1. *Corso di Laurea* (180 Crediti, con tirocinio finale)
2. *Corso di Laurea Specialistica o Magistrale* (120 Crediti compresa la Tesi di Laurea).

Il contenuto globale degli attuali Corsi di Laurea in Ingegneria Nucleare (I.N.) è sostanzialmente quello di cui al precedente DPR '89, anche se necessariamente più concentrato sui concetti fondamentali con riduzione del carico didattico ed ottimizzazione dello stesso nel tentativo, dichiarato anche a livello ministeriale, di ridurre la durata effettiva dei Corsi di Laurea quinquennali (come quello in I.N.) ad un valore più prossimo ai 5 anni nominali, a fronte della durata precedente che superava in media in molte Sedi gli 8 anni (compresa la Tesi di Laurea in I. N.).

Tabella 1

**DENOMINAZIONI ATTUALI DEI CORSI DI LAUREA
IN INGEGNERIA NUCLEARE**

(T = Laurea Triennale; M = Laurea Magistrale)

POLITECNICO DI MILANO:	Ingegneria Energetica (T), Ingegneria Nucleare (M)
POLITECNICO DI TORINO:	Ingegneria Energetica (T); Ingegneria Nucleare (M – Indirizzo)
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA:	Ingegneria Energetica (T, M)
UNIVERSITÀ DI PALERMO:	Ingegneria della Sicurezza e delle Tecnologie Nucleari (T,M)
UNIVERSITÀ DI PISA:	Ingegneria Nucleare e della Sicu- rezza e Protezione (T); Ingegneria Nucleare e della Sicu- rezza (M).
UNIVERSITÀ DI ROMA 1:	Ingegneria Energetica e delle Tecnologie Energetiche da Fonti non Convenzionali

Per la situazione nazionale che si è venuta configurando dopo il referendum relativo al nucleare del 1987, alcuni Corsi di Laurea in I. N. sono stati riorientati accentuando, nel titolo e/o nei program-

mi, contenuti inerenti per lo più l'Ingegneria Energetica e/o la Sicurezza Industriale, pur conservando in genere la precedente base culturale nucleare (cfr Tab. seg.) in almeno un indirizzo della Laurea Magistrale.

Si deve quindi tenere presente che la formazione di un Ingegnere Nucleare richiede attualmente $3 + 2 = 5$ anni di preparazione iniziale, meglio se seguita e completata da un Dottorato di ricerca per ulteriori 3 anni di studio, Dottorato che può essere considerato necessario in particolare per coloro che saranno poi impiegati nella R & S sia negli Enti che nella stessa Industria.

3. Alcuni dati sui corsi di laurea italiani in I.N.

Il numero degli Studenti e dei Laureati in I.N. nelle varie Sedi è stabilmente aumentato dalla loro istituzione (1960-66) fino a metà degli anni 80, per poi diminuire fino al 2006-07

Anche il numero dei Laureati in I.N. mostra un andamento rapidamente crescente nel periodo successivo alla prima crisi petrolifera (1974/75) fino a valori dell'ordine di circa 300 Unità/anno all'inizio degli anni '80; successivamente tale numero decresce sensibilmente fino ai valori attuali di circa 80-100 Laureati/anno.

L'andamento del numero dei Laureati/anno sembra aver risentito quindi, come era peraltro logico attendersi, delle vicende nazionali del settore (mancato avvio del previsto programma energetico nazionale, effetti delle scelte politiche successive all'incidente di Chernobyl, interpretazione distorta dei risultati del Referendum sul nucleare del 1987, etc.).

In totale il numero complessivo di Laureati in Ingegneria Nucleare in Italia ha superato le 5000 Unità mentre il numero dei Laureati e degli Studenti dei CdL in I.N. è sceso a circa l'1% del tota-

le dei valori corrispondenti per tutti i CdL in Ingegneria (in media 10-30 Unità per Sede nel 2007)

Per ottenere la disponibilità di Ingegneri Nucleari necessaria ad una rinascita del settore nucleare occorrerebbe prima di tutto attrarre un numero maggiore di studenti nei CdL in I.N. predisponendo incentivi (come sta avvenendo all'estero), ad esempio, in forma di borse e premi di studio ma, soprattutto, una politica energetica che presenti prospettive concrete ai giovani interessati al settore stesso. D'altra parte lo stesso mercato del lavoro sta già operando indipendentemente in questa direzione, come sembra provato da una inversione decisa di tendenza nelle iscrizioni al primo anno di Corso nell'anno accademico. 2008-2009, tendenza che peraltro, per essere significativa, dovrebbe essere confermata anche nei prossimi a.a..

In relazione alla necessità di Ingegneri Nucleari in Italia si devono inoltre considerare non solo le esigenze dell'Industria e della Ricerca nazionali ma anche la concorrenza estera sul mercato del lavoro: infatti i Paesi più attivi nel settore (Francia, Germania, USA etc.) stanno ormai da tempo assumendo (con successo) giovani Ingegneri italiani anche utilizzando politiche salariali e prospettive di lavoro particolarmente interessanti.

Per quanto attiene alla situazione della Docenza universitaria del settore nucleare si può osservare che il numero di Docenti e Ricercatori Universitari specifici è circa di 70 Unità complessive (di cui circa 40 Professori ed il resto Ricercatori, per valori intorno a 10 – 15 Unità in tot. per ognuna delle 6 sedi citate in precedenza); si deve peraltro ricordare che tale Personale è attualmente impegnato anche nell'insegnamento in altri Corsi di Laurea.

Il numero suddetto è inferiore (anche se non di moltissimo) a quello del periodo di massima espansione (anni '80 – '90), anche se ha un'età media relativamente elevata; questi fatti confermano che sarebbe possibile, con relativamente risorse aggiuntive relativamente contenute nel il prossimo "turn-over" dei Docenti, riportare la Do-

cenza e quindi anche la preparazione ed il numero dei Laureati/anno ai livelli degli anni '80.

Il problema reale che attiene alla disponibilità di una docenza qualificata e numericamente adeguata, alla predisposizione di un numero di Ingegneri Nucleari idoneo a soddisfare le esigenze della prospettata ripresa di interesse nazionale nella tecnologia nucleare, è dovuto alla lentezza del ricambio generazionale dei Docenti imposta dalla rallentata dinamica delle assunzioni consentite nelle varie sedi dalla attuale normativa per l'Università in generale (nuove assunzioni consentite per *non più del 50% dei pensionamenti*), cosa che impedisce al momento un reintegro del personale docente perduto negli ultimi 20 anni di politica energetica contraria allo sviluppo del settore nucleare

Dal canto loro le Università ed i Corsi di Laurea in Ingegneria Nucleare sono ormai da tempo impegnati in un attivo sforzo di internazionalizzazione mediante il Consorzio Interuniversitario per la Ricerca Tecnologica Nucleare (CIRTEN). Questo sforzo si è sviluppato in due direzioni:

- aggiornamento ed internazionalizzazione della didattica con adeguamento di quest'ultima ad uno standard che si sta delineando a livello europeo (o addirittura intercontinentale),
- internazionalizzazione dell'attività di ricerca mediante la promozione della partecipazione attiva ai progetti di ricerca nel settore nucleare in corso di organizzazione in Europa e più in generale a livello internazionale.

Per quanto attiene all'aggiornamento ed alla internazionalizzazione della didattica un contributo significativo è stato fornito dalla promozione e partecipazione del CIRTEN (e quindi delle Università interessate) a iniziative e programmi internazionali ed europei come:

- 1) Progetto ENEN del 5° EC FWP (completato nel 2003) con i risultati principali seguenti:
 - 1.1. Definizione delle caratteristiche di un Master Europeo in I. N. (EMSNE)
 - 1.2. Organizzazione di Corsi Pilota nel settore
 - 1.3. Creazione di una Rete europea (ENEN) per l'accreditamento dei curricula per il Master suddetto
- 2) Progetto NEPTUNO del 6° EC FWP (Nuclear European Platform of Training and University Organizations), completato nel 2005 con i seguenti risultati:
 - 2.1. Contatti e interazioni fra Mondo accademico ed Industria per l'insegnamento dell'I. N.
 - 2.2. Implementazione del previsto Master of Science in Nuclear Engineering (EMSNE) del quale hanno fatto parte 2 gruppi di 4 Corsi specifici da svolgere anche in due delle Sedi Italiane (Torino e Pisa in prima istanza).
- 3) WORLD NUCLEAR UNIVERSITY (WNU):

La WNU è stata fondata a Londra nel Settembre 2003 da 33 Organizzazioni Partners internazionali (fra cui CIRTEN ed ENEN) con il supporto e sotto gli auspici di Organizzazioni come IAEA, NEA, OECD, WANO, WNA, etc., con lo scopo di costituire una rete internazionale/intercontinentale di Istituzioni ed Organizzazioni che sviluppino la cooperazione per l'applicazione sicura di tutti gli aspetti delle tecnologie nucleari al fine di promuovere uno sviluppo sostenibile

Vale la pena di notare che l'attività di internazionalizzazione suddetta ha consentito fra l'altro alle Università Italiane del settore nucleare di orientare adeguatamente i loro "curricula studiorum" quindi vedere riconosciuta ufficialmente a livello europeo in sede ENEN la loro Laurea Magistrale con riconoscimento o "bollo". ENEN ai neo laureati in I:N. italiani (in possesso di determinati requisiti) che ne facciano specifica richiesta.

4. Cenni all'attività di ricerca scientifica svolta in ambito nucleare

L'attività di ricerca scientifica e tecnica, come per il passato e come avviene in ogni settore culturale universitario, ha sempre costituito una parte fondamentale della formazione universitaria dei Docenti e quindi, direttamente o per via mediata, degli Studenti; in senso più lato la ricerca universitaria ha contribuito allo sviluppo ed all'aggiornamento delle conoscenze anche nel settore dell'Ingegneria Nucleare in Italia, essendo la ricerca una delle attività proprie e dei compiti dell'Università in tutti i Paesi sviluppati a far tempo dalla creazione delle Università stesse come Istituzione.

Le Università Italiane con il loro Consorzio CIRTEN hanno promosso l'attività di ricerca ai fini suddetti curando in particolare la partecipazione alla ricerca in ambito internazionale sui grandi temi più aggiornati; questa scelta è stata di particolare importanza quando sono venute a mancare, o si sono ridotte moltissimo, le fonti nazionali di finanziamento a cominciare dalla 2.a metà degli anni '80 e '90, come già accennato in precedenza, a seguito degli indirizzi nazionali sfavorevoli allo sviluppo della tecnologia nucleare.

Il risultato è stato il conseguimento ed il mantenimento dell'odierno elevato livello delle conoscenze nel settore nucleare, livello riconosciuto anche in sede internazionale, come è dimostrato anche dalle stesse attive collaborazioni internazionali in essere.

Come è già stato accennato il citato consorzio CIRTEN è stato inizialmente costituito nel 1994 dalle Università indicate nella Tab. 2 seguente:

Tabella 2**CIRTEN (Consorzio Interuniversitario
per la Ricerca Tecnologica Nucleare)****UNIVERSITÀ PARTECIPANTI**

POLITECNICO DI MILANO
POLITECNICO DI TORINO
UNIVERSITÀ DI PADOVA
UNIVERSITÀ DI PALERMO
UNIVERSITÀ DI PISA
UNIVERSITÀ DI ROMA 1

SCOPI PRINCIPALI

- Promozione della ricerca scientifica e tecnologica nelle università
- Coordinamento delle università per il mantenimento e l'aggiornamento di un adeguato livello di conoscenze nel settore nucleare nel paese
- Coordinamento della collaborazione e della partecipazione a programmi di ricerca, a livello internazionale e nazionale, delle Università con gli enti di ricerca, l'industria per le attività di r & s nel settore nucleare
- Favorire la formazione delle risorse umane nell'ingegneria nucleare in italia

PRINCIPALI TEMI DI RICERCA DI INTERESSE DEL CIRTEN

- Sistemi energetici e loro problemi di r&s
- Impianti energetici nucleari e del ciclo del combustibile
- Applicazioni industriali e sanitarie delle radiazioni nucleari
- Problemi di progettazione, esercizio e sicurezza degli impianti,
- Problemi di impatto/protezione ambientale
- Radioprotezione, schermatura ed interazione con la materia delle radiazioni ionizzanti.

A titolo di esempio si ricordano nel seguito (Tab. 3) alcuni dei principali programmi di ricerca nazionali ed internazionali svolti negli ultimi anni dalle Università in ambito CIRTEEN.

Tabella 3

**ALCUNI PROGRAMMI DI RICERCA SVILUPPATI
IN AMBITO CIRTEEN DALLE UNIVERSITA'**

- 1) EC 4° FWP "ATHERMIP"
- 2) EC 4° FWP "INCOR"
- 3) EC 5° FWP "FIKI – 2000 HTNL HTGR Neutronics"
- 4) EC 5° FWP "FIKI – 2001 HTNL HTGR Neutronics"
- 5) EC 5° FWP "RMPS"
- 6) EC 6° FWP "GCFR" – 2006-08 Gen IV HTGR
- 7) EC 6° FWP "PUMA" – 2006-08 Gen IV HTGR
- 8) EC 6° e 7° FWP "ELSY" – 2006-09 Gen IV LCR
- 9) MIUR – ENEA- INFN "TRASCO- ADS 1°& 2°" PER TESTS E ANALISI NUMERICHE SU COMPONENTI ED ELEMENTI DI COMBUSTIBILE PER REATTORI TIPO ADS
- 10) PARTECIPAZIONE ALLE ATTIVITA' DEL CONSORZIO INTERNAZIONALE PROMOSSO DA WESTINGHOUSE PER LO SVILUPPO DEL REATORE INNOVATIVO (NEAR TERM DEPLOYMENT) PWR IRIS
- 11) SVILUPPO DELLA COLLABORAZIONE CON MSE ED ENEA NELL'AMBITO DELLO SPECIFICO AdP STABILITO FRA GLI ENTI PER RICERCHE NEL SETTORE ENERGETICO NUCLEARE DA FISSIONE

Oltre la attività suddette oggetto di sviluppo in collaborazione fra loro in ambito CIRTEEN, le Università italiane stanno svolgendo ed hanno svolto anche numerose altre attività di ricerca sui filoni caratterizzanti le singole sedi universitarie. Si deve osservare in proposito che tutte le suddette sedi universitarie interessate al settore nucleare, avendo dovuto fornire in generale fino ad oggi corsi completi in Ingegneria Nucleare, hanno Docenti e Ricercatori con com-

petenze sulle principali tematiche che caratterizzano il settore nucleare stesso.

Pertanto presso ognuna delle Sedi sono state e sono in essere attività di ricerca che riflettono la loro tradizione ed il loro back-ground scientifico e culturale più specifico.

I principali temi nel settore nucleare che sono stati e sono tuttora oggetto di analisi presso le singole sedi universitarie possono essere riassunti come indicato nella Tab. 4 seguente (che comunque deve essere considerata essenzialmente indicativa e non esaustiva).

Tabella 4

**PRINCIPALI TIPOLOGIE DI ATTIVITÀ DI RICERCA
UNIVERSITARIA NAZIONALE**

Analisi e Studi di Sistema

- Sistemi nucleari attuali ed avanzati delle filiere più attuali (LWR, ADS, LMFR, HTGR, etc.)
- Analisi di rischio e valutazione di impatto ambientale
- Studio di problemi di esercizio e sicurezza, analisi dell'evoluzione e delle conseguenze di transitori e sequenze incidentali anche di tipo severo
- Contenimento e trattamento degli effluenti e rifiuti radioattivi
- Sistemi di strumentazione per impiego delle radiazioni
- Sistemi per trasporto e stoccaggio temporaneo e/o definitivo di materiali e rifiuti radioattivi

Studi e Ricerche su Componenti Nucleari

- Componenti attuali ed innovativi di centrali nucleari di tecnologia occidentale ed est europea, fra cui: a) Core e dispositivi di regolazione e controllo,
- Sistemi di refrigerazione e moderazione, G. V., RPVessel, piping, valvole e sistema di contenimento in generale,
- Targets ed acceleratori per Reattori di tipo ADS, →



- Divertore, blanket, vacuum vessel per reattori a fusione, etc.
- Barre di controllo e sistemi di comando
- Strumentazione, dispositivi per irraggiamento e monitoraggio di centrali e depositi di scorie nucleari.
- Analisi di funzionalità ed affidabilità dei componenti degli impianti nucleari
- Garanzia della Qualità
- Studio di Fenomeni Fisici con Sviluppo di Metodi e Modelli di Calcolo innovativi

5. Conclusioni

Sulla base della breve analisi precedente si possono evidenziare come particolarmente importanti i punti precedenti:

- la necessità di aumentare a breve il numero dei Laureati e quindi degli studenti in I.N. per soddisfare le esigenze della rinascita dell'interesse per il nucleare nel Paese
- la necessità del mantenimento dell'attuale elevato livello di preparazione dei laureati (provato dalla facilità del loro inserimento lavorativo nelle industrie e nelle Organizzazioni di ricerca all'estero)
- una corretta considerazione del mantenimento dell'organico e della qualità dei Docenti necessari al settore nell'ottica suddetta anche mediante eventuali interventi "ad hoc" paralleli a quelli da effettuare in altri campi del settore nucleare
- la necessità di mantenere indirizzi chiari che evidenzino la volontà di promuovere concretamente il settore e quindi presentino prospettive per il futuro alle nuove generazioni di Ingegneri Nucleari: questo sarebbe un contributo fondamentale all'attrazione che il settore nucleare ha sempre avuto

- il mantenimento e l'ulteriore sviluppo della stretta cooperazione fra Università, Industria ed Enti di Ricerca nazionali
- l'opportunità di mantenere e, se possibile sviluppare ulteriormente, i rapporti internazionali in essere nei settori della didattica e della ricerca.

Indice autori

Adinolfi Roberto	AD Ansaldo Nucleare, Gruppo Ansaldo Energia
Bosetti Silvio	Direttore Generale Fondazione Energy Lab
Carelli Mario	Westinghouse
Casale Riccardo	Presidente IRIDE Energia, Consigliere ENEA e NUCLECO S.p.A.
Cinotti Luciano	Del Fungo Giera Energia
Clerici Alessandro	Presidente del Gruppo di Lavoro sul nucleare del WEC (World Energy Council)
D'Onghia Bruno	Direttore di EDF Italia
De Grandis Silvia	Ricercatrice ENEA
Forasassi Giuseppe	Presidente CIRTEN, Professore DIMNP (Università di Pisa)
Gaio Paolo	Westinghouse Europe
Garribba Sergio	Consigliere per le politiche dell'energia, Ministero dello Sviluppo Economico
Graziano Marco	Senior Vice-President, Business Development AREVA

Lombardi Carlo	Professore Politecnico di Milano
Mathis Agostino	Professore Università di Roma “La Sapienza”, ENEA
Monti Stefano	Presidente SIET S.p.A., Dirigente ENEA
Ricotti Marco	Professore Politecnico di Milano
Risoluti Piero	ENEA
Ristori Dominique	Direttore Generale Aggiunto Direzione Generale dell’Energia e dei trasporti Commissione Europea
Troiani Francesco	Presidente NUCLECO S.p.A., Dirigente ENEA
Zaccai Henri	Vice-President, Business Development AREVA

Carta del Laboratorio Democratico Europeo

Il Laboratorio Democratico Europeo (LDE) è un'associazione senza fini di lucro nata nel 2004 per promuovere lo sviluppo e la diffusione di un «pensiero europeo» e sottolineare il valore dell'interdipendenza contro quello dell'isolamento.

Il Laboratorio Democratico Europeo persegue tre obiettivi principali:

1. sperimentare un nuovo progetto politico-culturale (*Laboratorio*);
2. contribuire al dibattito politico italiano, attraverso il coinvolgimento dei cittadini - in particolare dei giovani professionisti -, delle organizzazioni della società civile, delle imprese e delle amministrazioni pubbliche, in vista di un rinnovamento della politica e delle istituzioni che miri a promuovere una nuova generazione di idee, proposte e progetti di matrice democratica e riformista (*Democratico*);
3. collocare le problematiche locali e territoriali in un'ottica più ampia, capace di mostrare, da un lato, come le scelte politiche dell'Unione e i grandi processi globali incidano sempre più sulla vita quotidiana dei cittadini, delle istituzioni, dei territori e, dall'altro, come il dibattito e l'azione locale possano trovare eco nei processi decisionali dell'Unione (*Europeo*).

Il Laboratorio opera su tre livelli: *europeo* è il suo orizzonte politico e culturale, la dimensione da cui intende trarre ispirazione e a cui intende riferirsi; *nazionale* è la sua natura e il raggio della sua azione; *locale* è l'ambito del dibattito che vuole animare per far crescere un nuovo spirito di comunità e di partecipazione.

Il Laboratorio vuole contribuire a dare voce a chi decide di im-

pegnarsi in maniera attiva per portare avanti un progetto di società che sappia rispondere alle sfide del presente e del futuro con chiavi di lettura moderne e innovative. Tutto questo per fare in modo che la rinascita della politica (*politics*) si realizzi attraverso l'elaborazione di politiche (*policies*) davvero al passo coi tempi, capaci di sostenere il merito e le competenze, di rafforzare la coesione sociale e la competitività tecnologica, di affrontare le sfide ambientali, di valorizzare la diversità territoriale.

Perché questa rinascita si realizzi, due sono i passi da compiere simultaneamente. Anzitutto, tenere informata la classe politica, in particolare regionale e locale, sui grandi cambiamenti in corso, attraverso il suo coinvolgimento in dibattiti con specialisti e cittadini. Secondo, siglare un nuovo patto tra le generazioni, che permetta di portare linfa nuova nella politica e nelle istituzioni, nel mondo dell'impresa, nelle libere professioni, nell'università.

L'associazione è rivolta a tutti i cittadini che ne condividano lo spirito e gli scopi, e che dimostrino un reale interesse a partecipare e a contribuire alla sua crescita e al successo delle sue iniziative. È rivolta a tutti i cittadini che sappiano dare un contributo specifico alla riflessione, e che intendano impegnarsi per promuovere un modo nuovo di fare dibattiti e proposte politiche. A tutti i cittadini, infine, convinti che anche in Italia sia arrivata l'ora di lavorare, assieme, ad un modo nuovo di «fare squadra».







