

# Energia nucleare

## Perché non risolverà i nostri problemi



L'interno della centrale nucleare di Caorso, in provincia di Piacenza

FRANCESCO ACERBIS / EMBLEMA

**I** prezzi del petrolio e dei combustibili fossili sono alle stelle e sono destinati a salire ancora; inoltre il nostro sistema economico ha sempre più bisogno di energia. Salgono così i livelli di inquinamento. Tornano quindi di attualità i sostenitori del nucleare: affermano che le nuove tecnologie rendono le centrali più sicure, che il nucleare non inquina e costa meno di petrolio, gas e carbone.

**Ma come stanno davvero le cose?**

In realtà anche gli impianti atomici hanno un notevole impatto sull'ambiente, le scorte di uranio non sono infinite e il problema delle scorie radiattive è tutt'altro che risolto.

Senza contare che il rischio di incidenti è sempre presente.

Ai ritmi di consumo attuali c'è uranio solo per altri 50 anni.

**Allora perché costruire nuove centrali?**

Anche la Banca mondiale non le ha mai ritenute convenienti. Sul nucleare si prepara un nuovo scontro culturale che non possiamo perdere.

### UN'ORBITA ATTORNO ALL'ATOMO

**pag. 18** Il nucleare non inquina?

**pag. 20** Uranio in abbondanza?

**pag. 21** Una fonte energetica economica?

**pag. 23** Il quadro attuale

**pag. 24** Il nucleare a confronto

# 439 centrali producono il 16% dell'elettricità nel mondo INOQUINANTE E COSTOSO: NON CREDETE ALL'ATOMO

a cura di **Emilio Novati**

**SCORIE RADIOATTIVE, RISERVE DI URANIO INCERTE E VANTAGGI ECONOMICI TUTTI DA DIMOSTRARE. A CHI CONVIENE PUNTARE SULL'ENERGIA NUCLEARE?**

Abbiamo sempre più bisogno di energia pulita, le centrali nucleari sono il modo più efficiente ed economico per produrre energia senza inquinare. Quindi è necessario rilanciare il nucleare. Questo è il sillogismo che ci viene proposto sempre più spesso sia da sostenitori storici dell'energia nucleare che da nuovi, a volte inaspettabili, adepti. Persino figure storiche dell'ecologismo ne sono affascinate, come il padre della teoria di Gaia James Lovelock, o Patrick Moore, uno dei fondatori di Greenpeace. Queste nuove figure di "nuclearisti ecologisti" cercano di accreditare l'idea che il nucleare sia l'unica scelta realistica per ridurre in tempi brevi le emissioni di gas ad effetto serra, responsabili del riscaldamento globale del pianeta. Il fatto che questi argomenti vengano utilizzati dai vari Bush e Berlusconi, che finora hanno cercato di negare l'evidenza del riscaldamento globale o non hanno fatto nulla per contrastarlo, non basta a renderli inattendibili, e in effetti chi oggi sostiene il ritorno al nucleare parte da alcuni dati di fatto difficilmente contestabili. Il primo è che i consumi energetici delle società industriali continuano ad aumentare, trascinati dalla crescita economica, ma anche dal cambiamento degli stili di vita. Per sostenere questi consumi crescenti siamo sempre più dipendenti dalle fonti fossili di energia: carbone, petrolio e gas naturale, che bruciando emettono anidride carbonica, la principale responsabile dell'aumento di temperatura dell'atmosfera terrestre e degli effetti climatici indotti. Per contenere i danni, dovremmo ridurre queste emissioni in modo significativo, ma persino i modesti obiettivi del protocollo di Kyoto sembrano irraggiungibili. L'altro argomento sempre più invocato è il continuo aumento del prezzo del petrolio. Se, come molti sostengono, questo è il segnale dell'avvicinarsi del suo "picco" di produzione - superato il quale inizierà il declino - allora

dobbiamo aspettarci una lunga fase di prezzi alti e di tensioni geopolitiche ulteriormente accentuate che si ripercuoteranno inevitabilmente anche sull'altra preziosa fonte fossile che utilizziamo, il gas naturale. Anche il metano infatti è destinato ad esaurirsi e a diventare sempre più prezioso, per cui la produzione di energia elettrica dovrà inevitabilmente ricorrere a un uso massiccio del carbone, il combustibile più abbondante ma di gran lunga più inquinante. Se dunque vogliamo invertire la rotta del cambiamento climatico, o per lo meno acquistare un po' di respiro per preparare soluzioni adeguate al problema, dobbiamo per forza ricorrere ad ogni mezzo per scongiurare un ritorno al carbone e anche i dubbi sul nucleare vanno messi da parte. Tanto più che gli sviluppi tecnologici garantirebbero oggi una maggior sicurezza e affidabilità dei reattori nucleari di nuova generazione, e i tecnici ci assicurano che anche il problema delle scorie radioattive sarà alla fine risolto in modo soddisfacente. Questi argomenti rischiano di far breccia anche tra chi ancora non si fida dei sostenitori del nucleare e sempre più spesso si sente ripetere che è necessario riparlare senza pregiudizi ideologici, tenendo aperta la porta anche a questa opzione energetica. Cerchiamo dunque di esaminare le premesse del sillogismo utilizzando non solo gli argomenti di chi al nucleare si è sempre opposto, ma anche i dati delle ricerche più recenti prodotte dai suoi sostenitori.

## IL NUCLEARE NON INQUINA?

Sostenere che il nucleare non inquina è un controsenso, visto che il problema principale di questa fonte energetica è la produzione di scorie radioattive, estremamente pericolose per l'ambiente e per la salute dell'uomo. Problema che attende ancora una soluzione adeguata,

**Emilio Novati è fisico teorico. Esperto di astronomia, si occupa di divulgazione scientifica. È presidente del consorzio Altra Economia Edizioni e socio della centrale di importazione del commercio equo "Equomercato" di Cantù**

## Scorie, ovvero come rimandare il problema

Il trattamento delle scorie radioattive è il problema chiave, tuttora irrisolto, della filiera nucleare. Le scorie prodotte durante il funzionamento di un reattore vengono classificate in tre categorie, in base alla loro radioattività e al loro periodo di dimezzamento. Alla prima categoria appartengono scorie debolmente radioattive, come gli indumenti protettivi usati dai tecnici nelle centrali, che costituiscono circa il 90% del totale. Alla seconda appartengono residui con una attività relativamente alta, come gli involucri delle barre di combustibile, e costituiscono circa il 7% del totale. La terza categoria comprende le scorie più pericolose, in cui è contenuto circa il 95% della radioattività totale

anche se costituiscono solo il 3% circa delle scorie complessive. Queste scorie di terzo livello contengono nuclei radioattivi con periodi di dimezzamento estremamente lunghi (come il plutonio) tanto che sono necessari circa 250.000 anni prima che la loro radioattività si riduca al livello dell'uranio che era stato usato originariamente come combustibile. Un impianto da 1.000 MW produce circa 30 tonnellate di scorie vetrificate all'anno - di cui quelle altamente radioattive occupano un volume relativamente piccolo -, ma richiedono sistemi di schermatura e di conservazione che dovrebbero garantire da ogni dispersione nell'ambiente per tempi, come dicevamo, estremamente lunghi.



Il centro per il trattamento delle scorie radioattive dello Stato dell'Idaho, Usa

Ed è proprio questa sicurezza su periodi così lunghi che le tecnologie attuali non sono in grado di garantire con certezza. Sono allo studio diversi tipi di soluzioni possibili, tra cui quella di indurre delle trasformazioni nucleari nei nuclei radioattivi di più lungo periodo in modo da trasformarli in nuclei con tempi

di dimezzamento più brevi e quindi ridurre i tempi di conservazione. Una tecnica di questo tipo è stata proposta di recente da Carlo Rubbia, e offrirebbe il vantaggio di "bruciare le scorie" ricavando energia anche da esse, ma è ancora in fase sperimentale e non sappiamo se si rivelerà efficace ed economica.

come è spiegato nel riquadro in alto. Chi sostiene che il nucleare sia una fonte di energia pulita si riferisce alle emissioni di anidride carbonica fidando, come dicevamo, che il problema delle scorie radioattive possa essere per ora accantonato e infine risolto. In effetti le fotografie delle centrali nucleari ci mostrano enormi edifici senza ciminiera. Non ci sono fumi neri che si avvitano nell'aria, ma solo bianche nubi di vapore che subito si dissolvono nel cielo azzurro. Sembrano fatte apposta per convincerci che non inquinano. Ma basta pensare che una centrale deve essere costruita, l'uranio che la alimenta deve essere estratto, trasportato e arricchito, e infine le scorie devono essere trattate e la centrale stessa smantellata, per capire che le cose non stanno proprio così. Per avere una valutazione reale delle emissioni bisogna dunque considerare l'intero ciclo di vita della centrale, pensando che ciascuna di queste fasi di lavorazione richiede un apporto di energia, prodotta da un insieme di fonti energetiche che dipende dal luogo in cui viene svolta, e se per produrre questa energia si utilizzano fonti fossili, allora ci sarà inevitabilmente una emissione di CO<sub>2</sub> che deve essere messa in conto all'impianto nucleare. Negli ultimi anni molte ricerche sono state prodotte in questo senso, ma senza raggiungere risultati certi e condivisi. Mentre su alcune fasi del ciclo, come la costruzione delle centrali o l'arricchimento del combustibile, l'esperienza

accumulata è ormai sufficiente a definire i costi energetici, restano altre fasi critiche sulle quali ancora sappiamo troppo poco, e certo non è un caso che queste fasi critiche siano quelle che rimandano i costi energetici (e anche economici) alle generazioni future, come il trattamento delle scorie. Queste incertezze fanno delle analisi di ciclo di vita uno strumento da utilizzare con prudenza, cercando di capire i problemi che si nascondono dietro le diverse valutazioni più che affidarsi ai numeri. In effetti i risultati delle ricerche finora effettuate sono molto diversi a seconda delle fonti e delle metodologie usate. Il modo più diffuso di indicare tali risultati è di misurare le emissioni di CO<sub>2</sub> in grammi per kWh di energia elettrica prodotta, e i valori che si trovano nelle diverse ricerche pubblicate variano da meno di 5 g/kWh a oltre 100 g/kWh, dove il valore più basso si riferisce a studi presentati dalla World Nuclear Association, quello più alto a uno studio di due ricercatori indipendenti, Jean Willem Storm van Leeuwen e Philip Smith, pubblicato qualche anno fa e fortemente contestato dai nuclearisti<sup>1</sup>. Un tentativo di confrontare le diverse valutazioni di ciclo di vita, anche per altri sistemi di produzione dell'energia elettrica, è stato fatto di recente dal World Energy Council<sup>2</sup>, una istituzione non certo dominata dagli antinuclearisti, che indica un valore medio tra gli studi presi in considerazione di circa 30 g/kWh. Un rapporto del Wwf<sup>3</sup> indica valori simili.

## Il nocciolo della questione: come funziona il reattore

I reattori nucleari estraggono energia dal processo di fissione (rottura) di nuclei di elementi pesanti, come l'uranio, il torio e il plutonio. La fissione dei nuclei di questi atomi è provocata dall'assorbimento di un neutro-

ne, che rompe il delicato equilibrio di forze nucleari che tiene assieme il nucleo, scindendolo in due frammenti più leggeri e liberando altri neutroni e una grande quantità di energia. I neutroni prodotti dalla fissio-

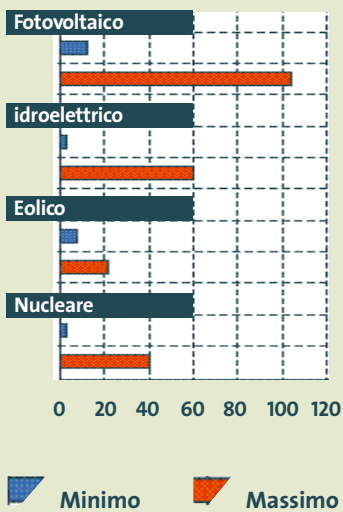
ne sono a loro volta disponibili per produrre altre fissioni, innescando così una reazione che, se non viene controllata produce un'esplosione, ma che può essere tenuta sotto controllo regolando opportunamente il flusso e l'energia dei neutroni stessi. La maggior parte dei

reattori oggi in funzione utilizzano come nucleo fissile un isotopo dell'uranio ( $U^{235}$ ) presente in natura in una percentuale dello 0,7% e per poter funzionare hanno bisogno di combustibile in cui questa percentuale sia elevata fino a valori superiori al 2%.



### Emissioni rinnovabili?

Il grafico mostra il confronto tra le emissioni (grammi di  $CO_2$  per kWh prodotto) minime e massime stimate per le varie tipologie di fonte energetica rinnovabile e il nucleare.



FONTE: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2004

Nonostante tutte le incertezze cosa possono dirci queste analisi del ciclo di vita del nucleare? Per valutarne il significato vanno confrontate con analisi simili effettuate sul ciclo di vita di altre fonti energetiche. Questo confronto sembra indicare che una centrale nucleare emette, nel suo ciclo di vita, meno di un trentesimo di  $CO_2$  rispetto a una centrale a carbone e circa un ventesimo rispetto a una centrale a gas a ciclo combinato; le sue emissioni sono comparabili con quelle delle migliori fonti rinnovabili, come l'idroelettrico e l'eolico e decisamente inferiori al fotovoltaico. Sembra quindi che da questo confronto emerga un punto decisamente a favore del nucleare. Ma, come dicevamo, sono risultati da prendere con le pinze.

Lo studio di Storm van Leeuwen e Smith, cui accennavamo, arriva a esempio a conclusioni piuttosto diverse, indicando una emissione complessiva del nucleare solo 3,3 inferiore rispetto al gas, un vantaggio che per altro potrebbe erodersi rapidamente se un forte sviluppo del nucleare costringesse a sfruttare miniere più povere di quelle attualmente coltivate e a smaltire quantità crescenti di scorie. La differenza di questo risultato rispetto agli altri studi dipende essenzialmente dalle valutazioni dei costi energetici di queste fasi critiche. La prima è quella dell'estrazione dell'uranio dalle miniere, dove l'energia necessaria dipende fortemente dalla ricchezza dei minerali di partenza. Attualmente le miniere più importanti sfruttano i minerali più ricchi di uranio e quindi il processo di estrazione richiede un *input* energetico relativamente basso, ma se si dovrà passare a miniere più povere, l'energia necessaria per estrarre una stessa quantità di uranio aumenterà inevitabilmente. Una eventualità che dipende dalla disponibilità di miniere ricche, e naturalmente dalla richiesta di uranio, destinata a salire se molti Paesi decidessero di imboccare la strada del nucleare. Sempre legato all'estrazione del minerale è il problema dei danni ambientali provocati dall'attività mineraria, difficili da quantificare in termini energetici, ma che devono pur essere considerati. Un modo per farlo sarebbe di consi-

derare l'apporto di energia necessario per ripristinare la situazione ambientale originaria una volta esaurita la miniera, ma evidentemente non si tratta di un calcolo facile, anche perché mancano esperienze sul campo, e comunque viene spesso trascurato o ampiamente sottovalutato.

Le valutazioni più incerte sono però quelle che riguardano il trattamento delle scorie e le operazioni di smantellamento delle centrali. Qui il problema è che ancora non esiste una soluzione accettabile per lo stoccaggio delle scorie di lunga durata e quindi valutare i costi energetici dell'operazione è un esercizio per lo meno azzardato. Quello che si può dire da un confronto del lavoro di Storm van Leeuwen e Smith con gli altri è che in generale i problemi dell'estrazione e delle scorie sono solitamente considerati come marginali ma solo basandosi sull'esperienza attuale che, come dicevamo, non ha in realtà ancora risolto questi problemi.

### URANIO IN ABBONDANZA?

L'uranio è un minerale molto diffuso sulla Terra, è presente nelle rocce in una percentuale di qualche grammo per tonnellata e si trova persino nell'acqua del mare, anche se con una concentrazione molto più bassa. Attualmente si sfruttano miniere in cui è presente in con una concentrazione superiore al 2% e i maggiori Paesi produttori sono Australia, Kazakistan e Canada, che da soli possiedono oltre il 50% delle riserve mondiali accertate. Complessivamente le riserve in queste miniere ricche sono stimate in poco più di 3,5 milioni di tonnellate (vedi tabella nella pagina a fianco). Il consumo annuale di uranio da parte dei reattori nucleari attualmente in funzione è di poco più di 68.000 tonnellate all'anno e quindi, a questo ritmo di consumi, le riserve accertate basteranno per circa 50 anni.

Se ci si limita a questi dati ovviamente c'è ben poco spazio per un ulteriore sviluppo del nucleare: raddoppiare il numero di centrali nei prossimi trent'anni, ad esempio, ci porterebbe a costruire impianti che non potranno essere

È necessario quindi "arricchire" l'uranio naturale attraverso processi che sfruttano la piccolissima differenza di peso specifico tra l'isotopo più abbondante ( $U^{238}$ ) e quello più scarso e più leggero ( $U^{235}$ ). Questa fase di arricchimento è quella che richiede maggior

energia nel processo di preparazione del combustibile. Essenzialmente la struttura di un reattore nucleare è costituita da tre componenti: un nocciolo dove avviene la fissione, un circuito primario di raffreddamento che asporta il calore prodotto nel nocciolo e

un circuito secondario che riceve il calore dal primario producendo vapore usato per azionare una turbina, collegata al generatore elettrico. Nocciolo e circuito primario sono chiusi in contenitori stagni per evitare dispersione di materiale radioattivo. Questo schema di

base viene realizzato in diverse varianti caratterizzate dal tipo di fluido utilizzato nel circuito primario e dai materiali utilizzati per regolare la reazione nel nocciolo. Il tipo attualmente più diffuso è il reattore Pwr, in cui il circuito primario utilizza acqua ad alta pressione.

alimentati fino al termine del loro ciclo di attività dalle miniere attualmente note. Ma i sostenitori del nucleare assicurano che trovare nuove miniere o nuovi procedimenti di estrazione è solo un problema di investimenti. Come in ogni discussione sulle riserve minerarie, anche in questo caso, si confrontano due scuole di pensiero: da una parte chi mette l'accento sui limiti delle riserve note, dall'altra chi conta sugli sviluppi tecnologici e sulla spinta del mercato per scoprirne e sfruttarne di nuove. Le stime delle agenzie internazionali (Iea e Iaea-Nea) parlano di riserve accessibili a prezzi di estrazione ragionevoli (inferiori a 130 dollari per chilogrammo) per 150-200 anni, ai ritmi di consumo attuali, e solo prendendo per buoni questi dati si può dire che ci sia abbastanza uranio per uno sviluppo importante del nucleare civile, almeno nei prossimi 50 anni. È questa la posizione assunta in una recente ricerca dal Massachusetts Institute of Technology (Mit), fatta con la dichiarata intenzione di promuovere il nucleare, che si pone come orizzonte la costruzione di mille centrali entro il 2050, contando che queste possano essere alimentate senza problemi<sup>4</sup>.

Un'ulteriore possibile riserva di uranio, spesso citata dai sostenitori del nucleare, si trova negli arsenali militari delle potenze nucleari. In decenni di proliferazione delle armi atomiche sono state accumulate enormi riserve di uranio fortemente arricchito e di plutonio, che potrebbero essere riconvertite ad usi civili. Ma per farlo occorre approntare complesse procedure di controllo nel trattamento e nella circolazione di questi materiali, potenzialmente utilizzabili per la costruzione di ordigni nucleari. Utilizzare queste riserve porrebbe cioè ulteriori problemi sul lato della proliferazione delle armi nucleari, uno dei nodi critici nello sviluppo del nucleare civile su cui torneremo in seguito.

## UNA FONTE ENERGETICA ECONOMICA?

Negli anni '50 il futuro economico del nucleare sembrava radioso: Lewis Strauss, capo della

commissione per l'energia nucleare Usa prevedeva che il prezzo dell'energia sarebbe diventato tanto basso da non essere misurabile, e ancora negli anni '70 il francese André Giraud, della commissione francese per l'energia atomica, prevedeva che entro il 2000 centinaia di reattori veloci del tipo *Superphoenix*, sarebbero stati in funzione nel mondo. Nessuna di queste previsioni si è avverata e anzi la costruzione di nuovi reattori è stagnante mentre il numero di reattori in funzione è in calo. Vi sono pochi dubbi che, oltre alla diffidenza della popolazione, una causa fondamentale di questa stagnazione sia il maggior costo dell'energia elettrica prodotta dalle centrali nucleari rispetto ad altre fonti, come il gas e il carbone.

Lo studio del Mit di cui abbiamo parlato, ad esempio, indica che il costo attuale di un kWh nucleare è di circa 6,7 centesimi di dollaro, contro i 4,2 del carbone e i 3,8 del gas naturale. Valori analoghi si trovano in un'altra ricerca, ancor più recente, dell'Università di Chicago, certamente non contraria al nucleare<sup>5</sup>.

Secondo questi studi il nucleare diverrebbe conveniente se le politiche energetiche dei vari Paesi si orientassero a favorire fortemente le fonti che non emettono  $CO_2$ , introducendo ad esempio una forte tassa sulle emissioni.

Lo studio del Mit, ad esempio, calcola che sarebbe necessaria una *carbon tax* di 100 dollari per tonnellata di  $CO_2$  emessa per rendere il nucleare economicamente concorrenziale. Il maggior prezzo dell'energia nucleare è da attribuire essenzialmente all'alto costo degli impianti e ai lunghi tempi di costruzione. Le stime più attendibili indicano valori compresi tra 1.600 e 1.800 dollari per chilowatt di potenza elettrica installata (il che significa che una centrale da 1.200 MW costa oltre 2 miliardi di dollari) e tempi dell'ordine di 5 anni, contro i 600-700 dollari per kW delle centrali a gas a ciclo combinato che si possono costruire in meno di due anni. Insomma, sembra che ormai siano rimasti in pochi a sostenere l'economicità del nucleare e anche chi è favorevole in linea di principio allo sviluppo di questa tecnologia deve ammettere che allo stato attuale non è econo-



## L'uranio che ci resta

Nella tabella, le maggiori riserve accertate di uranio nel mondo, in migliaia di tonnellate. Australia, Kazakistan e Canada sono attualmente anche i maggiori produttori.

Paese	Migliaia di t.	%
Australia	989	28%
Kazakistan	622	18%
Canada	439	12%
Sudafrica	298	8%
Namibia	213	6%
Brasile	143	4%
Fed. Russa	158	4%
Usa	102	3%
Uzbekistan	93	3%

**MONDO** 3.537

FONTE: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2004

## Cronologia di un rischio (non trascurabile)

**7 ottobre 1957**, Windscale (Inghilterra). Un incendio causa la dispersione di materiale radioattivo su un'area di circa 300 km quadrati.  
**28 marzo 1979**, Three Mile Island (Usa). Una perdita nel circuito di

raffreddamento causa un forte surriscaldamento del nocciolo del reattore, con la dispersione di acqua e gas radioattivi.  
**26 aprile 1986**, Chernobyl (Ucraina). Surriscaldamento e esplosione di uno dei reattori

della centrale. È il più grave incidente nucleare mai registrato finora con 31 morti nei giorni successivi e la dispersione di materiali radioattivi su un'area che si estende dalla Scandinavia all'Italia.  
**30 settembre 1999**, Tokaymura (Giappone). Un errore in un

impianto di processamento dell'uranio provoca una reazione di fusione. Irraggiate centinaia di persone. Due operai muiono.  
**9 agosto 2004**, Mihama (Giappone). Dispersione di vapore (ma non radioattivo) da un impianto nucleare. 4 operai muiono per le bruciature.



La centrale di Chernobyl (Ucraina)

## Dove il nocciolo è attivo

Paese	% di energia da nucleare	Reattori attivi
Argentina	8,6	2
Armenia	35	1
Belgio	55	7
Brasile	3,7	2
Bulgaria	38	4
Canada	12,5	17
Cina	2,2	9
Finlandia	27	4
Francia	78	59
Germania	28	17
Giappone	25	54
India	3,3	14
Lituania	80	1
Messico	5,2	2
Olanda	4,5	1
Pakistan	2,4	2
Regno Unito	24	23
Repubbl. Ceca	31	6
Romania	9,3	1
Russia	17	31
Slovacchia	57	6
Slovenia	40	1
Spagna	24	9
Sudafrica	6,1	2
Sud Korea	40	20
Svezia	50	11
Svizzera	40	5
Taiwan	22	6
Ucraina	46	15
Ungheria	33	4
Usa	19,9	103

MONDO 16 439

FONTE: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2004

micamente concorrenziale e anzi, per potersi sviluppare, ha bisogno di aiuti e sovvenzioni. Ma anche queste valutazioni già poco favorevoli al nucleare potrebbero contenere delle sostanziali sottovalutazioni di altri costi, in particolare per quanto riguarda il decommissionamento degli impianti e il trattamento delle scorie di lungo periodo.

Un esempio concreto è la vicenda della British Energy, una società privata che acquisì, durante gli anni delle grandi privatizzazioni, il settore di produzione elettronucleare inglese. Nel 2002, con la completa privatizzazione del mercato energetico, la società entrò in crisi e fu salvata dal fallimento solo grazie a una corposa iniezione di denaro pubblico. Furono versati circa 6 miliardi di euro, buona parte dei quali necessari per coprire i costi di smaltimento delle scorie e il futuro smantellamento delle centrali.

Ma anche in Francia, dove lo Stato resta il principale azionista della filiera nucleare, la Corte dei Conti ha scoperto all'inizio di quest'anno un buco di una decina di miliardi di euro negli accantonamenti riservati allo smantellamento delle centrali e alla gestione delle scorie.

In Italia il governo Amato calcolò nel 2001 che serviranno 3,3 miliardi di euro per mettere in sicurezza gli 80.000 metri cubi di scorie provenienti da demolizioni di centrali, combustibili esausti (oltre a una piccola quantità di rifiuti industriali e ospedalieri) entro il 2021. Già ora paghiamo una "tassa" sulle bollette elettriche per questo smaltimento che ha accumulato nelle casse della Sogin, la società incaricata dell'operazione, oltre 700 milioni di euro.

Ciononostante la soluzione definitiva del problema scorie è ben lungi dall'essere stata trovata, come insegna la vicenda di Scanzano. E il problema non è certo dovuto alla particolare situazione del nostro Paese, visto che anche negli Usa si discute da oltre vent'anni sulla localizzazione del deposito nazionale per le scorie di lungo periodo. Tre anni fa è stato confermato il monte Yucca, nel Nevada, con costi di smaltimento stimati in circa 110 miliardi di dollari. Finora ne sono stati spesi sette per gli studi preliminari e si prevede che la sola costruzione del deposito costerà almeno una sessantina di

miliardi e, secondo lo studio del Mit, se si costruissero mille reattori in più entro il 2050 sarebbe necessario scavare un deposito tipo monte Yucca ogni 3-4 anni!

Tutte queste vicende indicano che oltre a essere poco economica, la scelta del nucleare sarebbe anche accompagnata da rischi difficilmente valutabili, connessi alla scarsa affidabilità e trasparenza delle previsioni.

Non è certo un caso se la Banca mondiale, che pure non ha lesinato i suoi aiuti allo sviluppo di progetti energetici ecologicamente discutibili, non ha mai finanziato nessun impianto nucleare. Nel suo *Environmental Assessment Source Book* si legge: "Nonostante i minori costi operativi, l'alto investimento iniziale richiesto dagli impianti nucleari preclude la loro scelta come una alternativa economicamente favorevole rispetto a ogni ragionevole assunzione concernente i prezzi del carbone del petrolio. Gli impianti nucleari sono quindi antieconomici perché in base ai costi attuali e previsti è improbabile che risultino la soluzione di minor costo. Ci sono inoltre evidenze che le cifre usualmente citate dai sostenitori siano sostanzialmente sottostimate, e sbagliano nel valutare i costi del deposito delle scorie, del decommissionamento degli impianti, e altri costi ambientali".

A questi costi economici bisogna poi aggiungere i costi umani e sociali legati al problema della sicurezza. Anche questi sono di solito ampiamente sottovalutati, tanto che nessuna delle compagnie che gestiscono impianti nucleari è tenuta ad assicurarsi in modo adeguato per i rischi connessi a possibili incidenti. Le polizze di assicurazione coprono solo una minima parte dei danni possibili in caso di incidente grave e di fatto non esistono nemmeno dei criteri per definire quali dovrebbero essere dei premi adeguati. Il rischio così ricade del tutto sulla collettività che dovrà, in caso di incidente, farsi carico delle conseguenze. Citando ancora lo studio del Mit, il rischio di incidente grave non può essere escluso per nessuna delle tecnologie note, e attualmente viene quantificato in un possibile incidente grave ogni 50 anni, con i circa 400 reattori

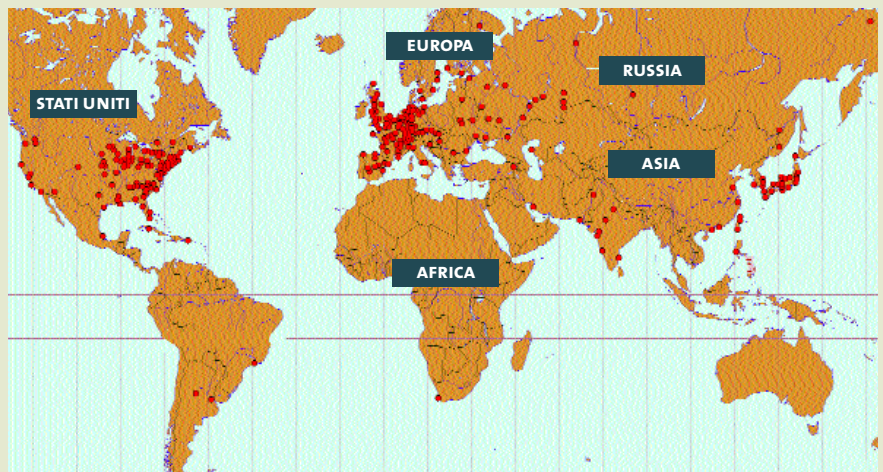
## Reattori come funghi

La mappa delle centrali nucleari nel mondo.

Quelle operative sono 439, per un totale di oltre 366 mila MW elettrici di capacità produttiva (circa il 16% del totale di elettricità prodotto).

La maggior parte sono concentrate in Stati Uniti, Europa e Giappone.

Nella cartina sono indicate anche le centrali dismesse, come quelle italiane.



funzionanti. Lo studio del Mit prevede che il miglioramento degli standard di sicurezza possa garantire questo stesso livello di rischio anche con un migliaio di reattori in funzione e questo sembra il meglio che si possa sperare. Ma la parte più interessante dell'analisi del Mit sulla sicurezza riguarda le altre fasi del ciclo del combustibile nucleare, dove invece vengono rilevate diverse lacune, che potrebbero portare a incidenti altrettanto gravi di quelli previsti in una centrale. Particolarmente a rischio sono le fasi di trasporto e trattamento del combustibile esausto, destinate a interessare quantità crescenti di materiale se crescerà il numero di centrali.

Queste fasi sono anche le più esposte a possibili azioni terroristiche, volte sia a provocare incidenti che a impossessarsi del materiale radioattivo o fissile. Un rischio che è andato aumentando negli ultimi anni e che è difficilmente valutabile, ma contro il quale l'unico strumento finora messo in campo è la crescita di controlli e segretezza, in un processo che sta sempre più militarizzando l'intero settore.

D'altronde il pericolo che gruppi terroristici si impossessino di materiale nucleare è solo un aspetto del più generale problema della proliferazione delle armi nucleari. Anche questo è un rischio inevitabilmente legato alla tecnologia nucleare, qualunque sia la sua versione, e dipende dal fatto che bastano pochi chilogrammi di uranio arricchito o di plutonio (contenuto nelle scorie) per costruire una bomba atomica. I recenti casi della Corea e dell'Iran dimostrano che si tratta di un pericolo sempre più incombente, contro il quale la comunità internazionale sembra avere ben pochi strumenti. Attualmente si possono intravedere due strade per limitare questo rischio. Una consiste nell'aumentare i poteri della Agenzia internazionale per l'energia nucleare, imponendo a tutti i Paesi che avviano un programma nucleare di sottoporsi a controlli a sorpresa particolarmente invasivi, ma è una strada che incontra enormi ostacoli diplomatici. L'altra richiederebbe di imporre una filiera del nucleare che escluda ogni recupero e riutilizzo delle scorie di combustione dell'uranio, elimi-

nando la possibilità di ricavarne il plutonio necessario per costruire le bombe. Ma questo significa accumulare ancora più scorie radioattive con lungo periodo di decadimento e quindi aumentare la gravità del problema del loro stoccaggio. Queste sono le raccomandazioni presenti nello studio del Mit, che però difficilmente verranno accolte a livello internazionale, visto che le tecnologie nucleari europea e giapponese sono invece orientate verso il parziale recupero delle scorie, anche per diminuire i costi di gestione. Sembra che l'unica strada praticabile sia quella di imporre anche con la forza la rinuncia al nucleare ai Paesi "canaglia", e permetterlo solo ai Paesi amici, ma è una scelta che promette solo ulteriori conflitti.

## IL QUADRO ATTUALE

Visti tutti questi dubbi e pericoli c'è da chiedersi come mai si insista tanto sul rilancio del nucleare e se il suo contributo alla produzione di energia nel mondo sia davvero così importante. Secondo i dati della World Nuclear Association sono 439 i reattori nucleari attualmente attivi nel mondo, che producono circa il 16% dell'energia elettrica mondiale, corrispondente a circa il 7% dell'energia complessivamente consumata. Il picco storico di 445 reattori è stato raggiunto nel 2002, e le nuove costruzioni in corso o previste non sono sufficienti a compensare la graduale dismissione dei reattori nei prossimi anni. L'età media di quelli operanti è infatti di circa 21 anni e, anche se i miglioramenti tecnologici e le legislazioni nazionali tendono ad allungare la loro vita operativa, per la maggior parte dovranno essere dismessi nei prossimi vent'anni. Solo per rimpiazzarli sarebbe quindi necessario costruire una ventina di reattori all'anno, una cifra che sembra decisamente

Centrale nucleare di Three Mile Island, negli Usa



## Chi crede nell'atomo

Paese	Reattori in costruzione	Progettati o proposti
Argentina	1	-
Brasile	-	1
Bulgaria	-	1
Canada	1	4
Cina	2	27
Egitto	-	1
Finlandia	-	1
Francia	-	1
Giappone	2	12
India	9	24
Indonesia	-	2
Iran	1	4
Israele	-	1
Nord Corea	1	1
Pakistan	-	1
Rep. Ceca	-	2
Romania	1	3
Russia	4	9
Slovacchia	-	2
Sudafrica	-	1
Sud Korea	-	8
Taiwan	2	-
Turchia	-	3
Ucraina	-	1
Usa	1	-
Vietnam	-	2
<b>Mondo</b>	<b>25</b>	<b>112</b>

FONTE: WORLD NUCLEAR ASSOCIATION, 2004

## Glossario

**Fissile.** Si dicono fissili i nuclei atomici che possono subire un processo di fissione, liberando energia.

**Fissione nucleare.** È il processo con cui si genera energia nei

reattori nucleari. Consiste nella rottura di un nucleo pesante in due frammenti di massa complessiva inferiore, con liberazione di una enorme quantità di energia.

**Isotopi.** Si dicono isotopi due nuclei di uno stesso elemento

chimico che contengono un numero differente di neutroni. Vengono identificati indicando il simbolo dell'elemento seguito da un numero che indica la quantità di protoni e neutroni contenuti nel nucleo.

**Neutrone.** Particella elementare

priva di carica elettrica, costituente dei nuclei atomici.

**Protone.** Particella elementare dotata di carica positiva, costituente dei nuclei atomici. Il numero dei protoni presenti nel nucleo è caratteristico di ogni elemento chimico.

## Note

1. [http://www.greatchange.org/bb-thermochemical-nuclear\\_sustainability\\_rev.html](http://www.greatchange.org/bb-thermochemical-nuclear_sustainability_rev.html)

2. "Comparision of energy systems using life cycle assesment", [www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/launches/lca/lca.asp](http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/default/launches/lca/lca.asp)

3. Climate change and nuclear power, [www.panda.org/downloads/climate\\_change/fullnuclearreprotwwf.pdf](http://www.panda.org/downloads/climate_change/fullnuclearreprotwwf.pdf)

4. <http://web.mit.edu/nuclear-power/pdf/nuclearpower-full.pdf>

5. "The economic future of nuclear power": <http://www.ne.doe.gov/reports/NuclIndustryStudy.pdf>

irraggiungibile data l'attuale tendenza. Attualmente sono in costruzione 25 centrali nucleari in tutto il mondo, alcune con lavori in corso da decenni, e non è certo previsto un raddoppio nei prossimi anni, come si vede dalla tabella che riportiamo nella pagina precedente.

Negli Usa il presidente Bush vuole rilanciare il nucleare, ma l'ultima centrale costruita fu ordinata nel 1973; nell'Ue solo due reattori sono in programma, uno in Finlandia e uno in Francia, più o meno sovvenzionati dallo Stato.

Il recente patto di collaborazione tra la nostra Enel e la francese Edf per la costruzione del nuovo reattore francese è stato presentato come un passo decisivo per riportare il nostro Paese sul fronte avanzato della ricerca nucleare. Il reattore in programma appartiene infatti alla nuova generazione denominata Epr (European Pressurized Reactor), che dovrebbe sostituire i reattori della precedente generazione.

Questa nuova tecnologia dovrebbe aprire la strada a ulteriori innovazioni, previste per i prossimi decenni; dal progetto Iris, sviluppato dal dipartimento Usa per l'energia, alla cosiddetta "Generation IV" che, verso la metà del secolo, dovrebbe risolvere tutti i problemi di sicurezza e di economicità. Ma tutte queste promesse non sembrano attirare particolarmente gli investimenti dei grandi gruppi energetici che, nonostante gli enormi profitti realizzati in questi anni, come al solito aspettano che siano gli Stati a spendere per la ricerca. Solo nei Paesi asiatici, Cina e India in particolare, è prevista la costruzione di una cinquantina di nuove centrali nucleari, sulla spinta dei crescenti bisogni energetici di questi Paesi. Ma anche questi impianti non basteranno a risollevarlo il settore.

Lo stato dei fatti sembra quindi indicare che il nucleare è una tecnologia ormai in declino, troppo costosa e rischiosa per meritare nuovi massicci investimenti.

## IL NUCLEARE A CONFRONTO

La ricerca del Mit che abbiamo citato ha il pregio di dichiarare esplicitamente le sue

intenzioni: mostrare come può essere rilanciato il nucleare in vista del suo potenziale contributo al contenimento dell'effetto serra. Concentrandosi su questo obiettivo dichiara fin dall'inizio che non intende fare confronti con altre possibili opzioni che possono essere adottate per conseguire lo stesso obiettivo. La stessa onestà intellettuale non è sempre riconoscibile in altri sostenitori del nucleare, e serve a nascondere la verità più scomoda: una alternativa esiste ed è più economica, meno rischiosa e alla portata di ogni Paese. È il risparmio energetico.

Purtroppo, è una alternativa che non piace a chi pensa al benessere sociale solo in termini di aumento del Pil e dei consumi. Si tratta insomma di far cadere la prima premessa del sillogismo che abbiamo riportato all'inizio, e si può farlo agendo su due fronti: migliorando l'efficienza energetica e consumando di meno. Fin dagli anni '80 diversi studi hanno dimostrato che la via dell'efficienza è molto meno costosa (fino a dieci volte) rispetto alla strada del nucleare, ma è chiaro che se si spendono risorse per produrre più energia è impossibile (e contraddittorio) investire nel risparmio. Una ricerca pubblicata qualche anno fa dai Verdi europei mostra che se si utilizza il calore prodotto dagli impianti termoelettrici come fonte di riscaldamento, la loro efficienza può raggiungere punte del 70-80%. Ma per farlo occorre installare impianti di dimensioni non eccessive nei pressi dei centri abitati, una opzione impossibile da attuare con il nucleare.

Questa è una strada immediatamente percorribile su grande scala; in Europa circa il 13% dell'energia prodotta proviene da impianti di cogenerazione di questo tipo, diffusi soprattutto in Paesi che hanno rifiutato la scelta nucleare, come la Danimarca, dove coprono addirittura il 50% del fabbisogno energetico. Più in generale il potenziale di risparmio energetico in Europa è valutato dal 30 al 50%. Una miniera di energia che abbatterebbe le emissioni di CO<sub>2</sub> ben più di ogni ricorso al nucleare.