

# ENERGIA NUCLEARE: UNA SOLUZIONE?

## La valutazione di ASPO-Italia

*ASPO-Italia è la sezione italiana dell'associazione internazionale ASPO (Associazione per lo studio del picco del petrolio). I membri di ASPO-Italia sono ricercatori e esperti indipendenti che si occupano di energia, materie prime e ambiente.*

Aprile 2008

[www.aspoitalia.net](http://www.aspoitalia.net)

### 1. Sommario

*Le ultime vicende legate alle elezioni di aprile in Italia hanno visto la questione energetica acquisire un certo peso nel dibattito politico. In particolare, da più parti si invoca un ritorno massiccio all'energia nucleare dopo che il referendum del 1987 aveva portato alla chiusura delle centrali nucleari esistenti in Italia. Queste note riferiscono la posizione di ASPO-Italia sulla redditività economica e sulla percorribilità energetica del nucleare nel mondo e in Italia in particolare. Riteniamo che l'energia nucleare non debba essere demonizzata su basi ideologiche ma che non la si può nemmeno passare come la soluzione magica a tutti i problemi di energia che abbiamo in Italia. In particolare, ASPO-Italia ritiene preoccupante l'attuale polarizzazione politica dell'energia, con le rinnovabili viste come "di sinistra" e l'energia nucleare vista come "di destra". Nessun progresso si potrà fare in Italia nella risoluzione del problema energetico senza un accordo che garantisca un sostegno politico a lungo termine delle scelte fatte.*

### 2. Introduzione

Il dibattito sull'energia nucleare (e sull'energia in generale) ha ripreso interesse dopo che il disastro di Chernobyl (1986) e il successivo referendum abrogativo (1987) sembravano aver chiuso per sempre la questione nucleare in Italia. Da una parte, la nascita di questo nuovo dibattito è una cosa positiva in quanto porta alla ribalta la questione energetica che i vari governi che si sono succeduti dopo il referendum hanno colpevolmente trascurato. D'altra parte, è anche preoccupante notare che il dibattito sull'energia si è politicizzato e appare sempre di più basarsi su questioni ideologiche. Questa polarizzazione è grave soprattutto se certe tendenze in corso dovessero rafforzarsi; ovvero con l'energia nucleare vista come "di destra" e quella rinnovabile vista come "di sinistra".

E' ovvio è impossibile dare un giudizio su una questione così importante come l'infrastruttura energetica del paese senza considerare questioni come la distribuzione della ricchezza nella società, la centralizzazione o meno della produzione e altri fattori. Tutti questi elementi sono parte di una visione del futuro che è anche politica. Tuttavia, politicizzare certe questioni in termini di contrapposizione fra schieramenti opposti rende impossibile prendere decisioni importanti. Le politiche energetiche devono essere seguite con coerenza e consistenza per periodi ben più lunghi di quelli che vedono l'avvicendamento dell'una o dell'altra parte politica al governo. L'energia non è né di destra né di sinistra. Il problema energetico è al di sopra delle parti e dovrebbe essere trattato da tutti con estrema neutralità perché dal rifornimento energetico dipende il futuro della nazione; più che da qualsiasi altro parametro economico.

Se non è possibile ridurre la questione energetica a un'analisi esclusivamente tecnica, è perlomeno possibile analizzare le prospettive dell'energia nucleare cercando di evitare le facili semplificazioni e slogan che fanno parte del dibattito attuale. Questo è quello che faremo nel presente documento.

### ***3. La situazione energetica.***

Non c'è dubbio che la proposta di un ritorno all'energia nucleare in Italia nasce a partire da una valutazione corretta e realistica della disponibilità presente e futura dei combustibili fossili. Già nel 1998, i fondatori di ASPO internazionale, Colin Campbell e Jean Laherrere avevano lanciato l'allarme riguardo alla possibilità di una crisi petrolifera che si sarebbe potuta verificare verso la metà del primo decennio del ventunesimo secolo. Questa crisi si è puntualmente verificata. La produzione petrolifera planetaria è rimasta piatta a partire dal 2004 e l'aumento della domanda ha generato gli aumenti di prezzi che osserviamo oggi. L'aumento dei prezzi del petrolio è accompagnato da un aumento dei prezzi di tutte le risorse energetiche: gas, carbone e uranio.

Secondo l'analisi di ASPO, queste tendenze sono dovute al progressivo esaurimento delle risorse minerali a buon mercato che forza lo sfruttamento di risorse sempre più costose. Né il petrolio né le altre risorse sono da considerarsi "esaurite" in senso fisico, ma i crescenti costi di estrazione sono destinati a generare nel prossimo futuro una graduale riduzione della produzione. Secondo ASPO, il "picco di produzione" del petrolio mondiale e di tutti i liquidi estraibili si verificherà entro il 2010. Gas e carbone sono anch'essi soggetti a esaurimento ma hanno caratteristiche diverse in quanto risorse in gran parte locali e difficili da trasportare. Questo aggrava il problema per i paesi importatori come l'Europa, che si trovano fra le altre cose di fronte alla possibilità di ricatti politici da parte dei paesi produttori.

La prospettiva di una carenza di petrolio a breve termine, e in generale di energia, genera una situazione che è già grave dal punto di vista economico e che si prospetta ancora più grave nel prossimo futuro. A questo problema si aggiunge quello del riscaldamento globale causato dalla combustione dei composti fossili del carbonio.

Di fronte al problema, vediamo una ricerca affannosa di soluzioni. Per sostituire il petrolio si parla di ottenere liquidi dal carbone o dal gas naturale. Questo non farebbe che spostare il problema di poco nel futuro e nel caso del carbone genererebbe problemi climatici gravissimi. Si parla anche dell'uso di combustibili di origine biologica (biocarburanti) ma è facile calcolare che le capacità produttive dell'agricoltura mondiale non sono tali da permettere di sostituire i combustibili fossili senza impattare considerevolmente sulla produzione alimentare. Sono necessarie soluzioni più radicali non basate sulla combustione di composti del carbonio: energia nucleare o energia rinnovabile intesa come solare diretto (per esempio pannelli fotovoltaici) o indiretto (per esempio, energia dal vento).

Tuttavia, in Italia, siamo stati estremamente lenti nello sviluppare nuove tecnologie energetiche. Con il referendum del 1987, l'energia nucleare è stata abbandonata per decreto. Non si è fatto molto meglio per quanto riguarda l'energia rinnovabile, che è rimasta fino ad oggi trascurata e pochissimo sviluppata. Siamo in grado di invertire la tendenza? Questo è quello che i sostenitori dell'energia nucleare si propongono di fare mediante la fissione nucleare. Vedremo ora di esaminare le prospettive di questa idea.

### ***4. Valutazione della tecnologia nucleare***

Gli oppositori dell'energia nucleare parlano quasi esclusivamente sul problema della sicurezza e dello smaltimento delle scorie; i fautori invece presentano il nucleare come la soluzione magica per ottenere energia a basso costo per sempre, addirittura a volte definendo l'energia nucleare come "rinnovabile". In entrambi i casi, abbiamo una visione parziale e insufficiente di un argomento complesso come lo è la tecnologia nucleare.

Vedremo qui di seguito una valutazione più dettagliata, anche se concisa, dei punti principali che definiscono l'energia nucleare, come è corretto fare per qualsiasi tipo di tecnologia energetica. In questa valutazione ci riferiamo alla tecnologia attualmente commerciale, ovvero reattori che usano la fissione dell'isotopo 235 dell'uranio come sorgente di energia. Al momento, ne esistono due tipi a livello commerciale: quello detto "ad acqua leggera" (light water reactor, LWR) che usa uranio arricchito e quello detto "CANDU" (Canadian Deuterium Uranium) che usa uranio naturale. Le prestazioni di questi due tipi di reattori sono sostanzialmente equivalenti. Il potenziale di sviluppo futuro della tecnologia nucleare, per esempio reattori "a neutroni veloci," è trattato in una sezione separata.

Cominciamo con l'elencare i vantaggi della tecnologia nucleare

1. *Affidabilità.* Il record storico delle centrali nucleari è nel complesso buono. Le prime centrali nucleari civili, ovvero pensate per la produzione di energia elettrica, sono apparse negli anni 1950. La crescita del numero di centrali è stata molto rapida fino agli anni '70 quando la tendenza si è interrotta.
2. *Contributo alla produzione mondiale.* Esistono oggi oltre 400 centrali nucleari in tutto il mondo che generano approssimativamente il 17% dell'energia elettrica totale mondiale e il 6.3% del totale dell'energia primaria. La Francia è il paese più nuclearizzato del mondo, con un parco reattori di 59 centrali che producono quasi l'80% della produzione nazionale di energia elettrica. Di questa energia, circa il 20% viene esportato, in buona parte anche in Italia.
3. *Costi.* I costi dell'energia nucleare sono spesso stimati come più bassi di quelli di altre tecnologie energetiche. Inoltre, è un fatto che nei paesi che fanno uso di centrali nucleari il costo dell'energia elettrica è di solito più basso di quello dei paesi che si affidano a combustibili fossili. Tuttavia, va anche detto che la stima dei costi reali dell'energia nucleare è un punto molto controverso, come vedremo poi più in dettaglio.
4. *Emissioni di gas serra.* Una centrale nucleare, di per se, non emette gas serra. Tuttavia, va detto che una certa quantità di gas serra viene generata da operazioni quali, per esempio, l'estrazione di uranio minerale come pure, ovviamente, per la costruzione della centrale e il suo smantellamento.
5. *Disponibilità di risorse.* Per il momento, non ci sono stati problemi di disponibilità di combustibile (uranio) per le centrali nucleari. L'uranio minerale esiste in paesi diversi da quelli che esportano petrolio o combustibili fossili e pertanto non si pongono gli stessi problemi strategici che abbiamo con il petrolio. Come vedremo poi, le risorse uranifere minerali sono comunque limitate.
6. *Sicurezza.* Nonostante il disastro di Chernobyl, il numero di vittime di incidenti causati dalle centrali nucleari è enormemente inferiore a quello che viene stimato come causato dai prodotti di combustione del carbone e di altri combustibili "sporchi".

Tuttavia, molte cose sono cambiate negli anni e certe analisi molto ottimistiche di una volta devono essere riviste alla luce di un esame dettagliato. Quelle che seguono sono le criticità principali dell'energia nucleare.

1. *Costi.* La valutazione dei costi dell'energia nucleare è spesso ottimistica su vari elementi, come per esempio il numero di ore all'anno in cui le centrali sono attive o il tempo di cantiere, o i costi dello smantellamento. A volte, le valutazioni esistenti non tengono conto o minimizzano i "costi esterni" (o "costi occulti") del nucleare, per esempi la necessità di misure di sicurezza strategiche.
2. *Resa energetica.* Si sta affermando sempre di più l'idea che la resa di una tecnologia energetica non debba valutarsi sui costi monetari ma sui "costi energetici". Ovvero, nel giudicare una tecnologia dobbiamo valutare il rapporto fra l'energia prodotta nel corso della vita attiva di un impianto e l'energia spesa per la sua costruzione, manutenzione, operazione, e smantellamento. Questo rapporto viene detto EROEI (Energy Return On Energy Invested). Quanto maggiore è l'EROEI, tanto migliore è la tecnologia. Se il valore dell'EROEI è inferiore a 1, la tecnologia non produce energia durante il suo ciclo di vita, al contrario ne consuma. La questione dell'EROEI della tecnologia nucleare è oggetto di vivace dibattito. Alcuni sostengono che sia molto basso, addirittura inferiore a 1, ovvero che il nucleare possa esistere ed essere economicamente conveniente soltanto in virtù dei sussidi statali. Altri, invece, danno valori dell'EROEI totalmente irrealistici, intorno a 80-100. Secondo le analisi che appaiono più affidabili, l'EROEI attuale dell'energia nucleare è intorno 5-15, ma potrebbe essere più basso se si considerano tutti i costi esterni. Ne consegue che il valore dell'EROEI della fissione nucleare attuale, sebbene accettabile, è inferiore a quello dei combustibili fossili e non è significativamente superiore a quello delle sorgenti rinnovabili principali (eolico o fotovoltaico). Da notare, comunque, che l'EROEI della fissione nucleare è destinato a peggiorare via via che aumentano i costi energetici dello sfruttamento di risorse uranifere sempre più diluite.
3. *Risorse di combustibile.* Si stima che le riserve note di uranio potrebbero alimentare l'attuale parco di centrali al massimo per qualche decennio. Se si dovesse aumentare il numero di centrali a coprire completamente la produzione di energia elettrica mondiale, le risorse uranifere note non potrebbero durare più di qualche anno. Al momento, la produzione minerale di uranio è di circa 40.000 tonnellate all'anno, insufficiente per coprire il consumo delle circa 430 centrali esistenti (circa 65.000 tonnellate/anno). La differenza viene coperta usando uranio previamente immagazzinato, in gran parte recuperato da vecchie testate nucleari sovietiche. E' possibile che nel futuro si riuscirà a sfruttare risorse uranifere al momento non utilizzabili, ma comunque esistono serie preoccupazioni sul fatto che la produzione di uranio minerale riesca a soddisfare le centrali esistenti nei prossimi anni. A maggior ragione, si pone il problema di alimentare un'espansione sostanziale della produzione di energia nucleare. Alcuni schemi proposti per risolvere il problema, per esempio l'estrazione di uranio dall'acqua di mare, si rivelano a un esame dettagliato lontanissimi dall'applicazione pratica. Non è difficile immaginare che la scarsità di uranio minerale nei prossimi anni darebbe origine a una competizione con paesi strategicamente molto forti, come la Cina, che metterebbe in seria difficoltà il tentativo di un'espansione della produzione di energia nucleare in paesi più deboli, come l'Italia.
4. *Scorie radioattive e sicurezza.* Il problema delle scorie radioattive non ha ancora trovato una soluzione certa e sicura per i tempi necessari per lo stoccaggio, che sono dell'ordine delle migliaia di anni. L'unico sito al mondo predisposto a questo scopo, Yucca Mountain negli USA, sembra soffrire di problemi vari e al momento

non è ancora utilizzato. Quanto al problema della sicurezza, nonostante che il record storico delle centrali nucleari sia buono nella media, occorre anche considerare la natura specifica del rischio radioattivo come un fatto completamente diverso dal rischio tradizionale. Gli incidenti correlati alle centrali nucleari, fusione del nucleo, per esempio, anche se rari sono potenzialmente più gravi di qualsiasi cosa il carbone o il petrolio potrebbero causare. Inoltre, non si può trascurare il problema della sicurezza strategica di una centrale nucleare che è un bersaglio invitante per attacchi terroristici o convenzionali.

5. *Flessibilità.* I reattori nucleari producono elettricità a potenza costante ("base load") che mal si adatta alla normale fluttuazione di assorbimento della rete elettrica. Non sarebbe possibile utilizzare gli impianti nucleari attuali per produrre il 100% dell'energia elettrica senza sprecare una gran parte dell'energia e aumentare i costi. In pratica, non è possibile pensare di espandere considerevolmente la produzione di energia nucleare senza mettere in campo tecnologie di accumulo, con un corrispondente aumento dei costi.
6. *Tempi.* La costruzione di nuove centrali nucleari è un processo lento a causa delle complesse procedure decisionali necessarie e della necessità di raccogliere capitali di investimento sufficienti. In pratica, è difficile pensare che una centrale possa entrare in funzione prima di un decennio dalla decisione di costruirla. Al contrario, di fronte al rapido aggravarsi della crisi dei combustibili fossili, la loro sostituzione richiede soluzioni immediate o comunque che possano essere messe in campo in tempi brevi. Inoltre, l'energia nucleare è utilizzabile al momento soltanto per produrre energia elettrica, ovvero non risolve, a meno di ulteriori costi e investimenti in nuove tecnologie, le necessità di energia per il riscaldamento degli edifici e per il trasporto che rappresentano approssimativamente i due terzi dell'energia consumata nei paesi Europei e in Italia.

## **5.Sviluppi futuri**

Nelle sezioni precedenti, la discussione si è basata unicamente sulle caratteristiche delle centrali nucleari attualmente sul mercato. Ovviamente, la tecnologia avanza in tutti i campi e non possiamo trascurare i possibili sviluppi futuri che potrebbero risolvere o alleviare le criticità che abbiamo evidenziato.

Le centrali nucleari attuali non sono diverse, in termini di principi di base, dalle centrali sviluppate e commercializzate negli anni '50, sebbene un certo numero di miglioramenti incrementali abbia consentito di aumentare l'efficienza della produzione di energia.

In termini di sviluppo futuro, possiamo considerare la possibilità di miglioramenti della tecnologia della fissione dell' Uranio 235, oppure l'utilizzo di processi nucleari diversi per ottenere energia utilizzabile. Nel primo caso, si parla di una nuova generazione (detta a volte "terza generazione") di centrali che funzionano a temperature più elevate delle attuali e, pertanto, hanno una resa termodinamica migliore. Ammesso che sia possibile e conveniente sviluppare questo tipo di centrali, i termini dei problemi che abbiamo evidenziato non cambiano in modo sostanziale.

Diverso è il caso delle centrali cosiddette "a neutroni veloci" o "autofertilizzanti" (a volte dette di "quarta generazione") che sono in grado di sfruttare l'isotopo 238 dell'uranio per ottenere energia. L'uranio 238 è oltre 100 volte più abbondante di quello 235; pertanto questo tipo di centrali risolverebbero alla base ogni problema di scarsità di uranio minerale. Un certo numero di centrali autofertilizzanti sono state costruite e sperimentate negli anni '70 in Europa, Giappone, e negli Stati Uniti. Di queste, nessuna ha dato buoni risultati. Tutte sono state chiuse e sono in corso

di smantellamento. Al momento c'è un tentativo di ritornare a considerare i sistemi a neutroni veloci, ma non esistono per ora nuovi prototipi in costruzione. Anche ammesso che sia possibile sviluppare questa tecnologia come un modo pratico per produrre energia, non possiamo aspettarci che abbia un impatto prima di diversi decenni da oggi.

Esistono anche altre tecnologie nucleari che vengono descritte nella letteratura come potenzialmente utilizzabili per produrre energia. Fra queste l'uso del torio al posto dell'uranio, l'"amplificatore energetico" e la fusione nucleare. Nessuna di queste proposte ha mai raggiunto lo stadio di un prototipo in grado di produrre energia e i tempi per il loro sviluppo sono come minimo di diversi decenni. Pertanto non le considereremo qui ulteriormente.

Per finire, un punto fondamentale in questa valutazione è la competizione con altre tecnologie disponibili. Fra queste, è chiaro che le fonti energetiche basate sui fossili sono in declino irreversibile e che in un futuro non lontano cesseranno di essere competitive con le alternative. Le energie rinnovabili, viceversa, sono in piena crescita e hanno molti vantaggi: sono tecnologie mature e provate, non producono gas serra o inquinamento durante il loro funzionamento, e hanno un'EROEI già buona e in rapida crescita. Come vantaggi addizionali, le rinnovabili non producono scorie, non hanno problemi di sicurezza o strategici, non hanno problemi di esaurimento del combustibile. Per quanto riguarda il problema dell'integrazione con la rete, le rinnovabili hanno il problema opposto di quello che ha l'energia nucleare. Mentre il nucleare è in difficoltà ad adattarsi alle fluttuazioni della rete, le rinnovabili fluttuano troppo e in modo non perfettamente prevedibile. In entrambi i casi, sono necessarie tecnologie di stoccaggio inserite nel concetto di "rete intelligente" per cui non si può parlare di un vantaggio dell'una o dell'altra tecnologia.

Il costo monetario sembrerebbe oggi l'unico svantaggio di alcune rinnovabili rispetto al nucleare, soprattutto per il fotovoltaico; perlomeno finché non si considerano i costi esterni che potrebbero già oggi dare un vantaggio netto alle rinnovabili. Comunque sia, le tecnologie rinnovabili stanno evolvendo con una rapidità impressionante, con novità come il fotovoltaico a film sottile e l'eolico d'alta quota (per esempio nella forma del "kitegen"). Queste tecnologie promettono costi molto bassi e rese energetiche estremamente buone ottenibili in tempi relativamente brevi e potrebbero rapidamente rendere completamente obsoleta l'attuale tecnologia della fissione nucleare.

## **6. Conclusione.**

Non c'è dubbio che nei prossimi anni vedremo un tentativo di riprendere lo sviluppo dell'energia nucleare, che era in stasi dagli anni 1980. Quanto questo tentativo avrà successo, è difficile dire. Certamente, come abbiamo visto, l'energia nucleare ha alcuni punti a favore che non si possono trascurare: indipendenza dalle fonti fossili, affidabilità, record provato e altri. D'altra parte, abbiamo anche visto che ci sono dei problemi molto seri con la tecnologia attuale che rendono difficile pensare a un rapido incremento della produzione di energia nucleare nel prossimo futuro.

Possiamo riassumere le criticità principali dell'energia nucleare qui di seguito in forma compatta.

1. Il costo reale dell'energia nucleare è complessivamente dello stesso ordine di grandezza di quello di altre fonti di energia in uso attualmente, sicuramente non più basso in modo significativo.
2. La resa energetica delle centrali nucleari (EROEI) è accettabile ma non superiore a quella delle energie rinnovabili attualmente sul mercato
3. La disponibilità di sufficienti risorse di uranio minerale è una delle incognite principali per il futuro della tecnologia nucleare attuale

4. I problemi delle scorie radioattive e della sicurezza, seppure in taluni casi sopravvalutati o strumentalizzati, sono tuttora non completamente risolti e certamente non trascurabili. Inoltre, la sicurezza militare delle centrali è un problema spesso sottovalutato.
5. La mancanza di flessibilità di produzione da parte degli impianti nucleari non consente al momento attuale di utilizzarli per sostituire completamente i combustibili fossili nella produzione di energia elettrica.
6. I tempi necessari per la costruzione di nuove centrali sono troppo lunghi per avere un impatto sulla crisi in corso. Inoltre le centrali non risolvono in tempi brevi i problemi di trasporto e di riscaldamento degli edifici.

Per l'ottimista, nessuno di questi problemi è cruciale e li si possono risolvere con l'applicazione di appropriate tecnologie. All'estremo opposto, c'è chi giudica questi problemi talmente gravi da condannare senza appello la tecnologia nucleare non solo in termini di sviluppi futuri, ma anche al punto da auspicare la chiusura degli impianti esistenti.

La persona prudente (o meglio, realista) farà bene a evitare entrambi gli estremi. Sarebbe una follia rinunciare oggi all'energia nucleare prodotta dagli impianti esistenti in Europa (e che l'Italia importa), ma sarebbe lo stesso una follia puntare tutto sull'energia nucleare, rinunciando a priori all'alternativa rinnovabile.

Soprattutto, sarà prudente tener conto che il territorio dell'Unione Europea non dispone di risorse uranifere minerali significative e che, pertanto, sostituire i fossili con l'uranio potrebbe significare soltanto cambiare la nostra dipendenza dall'importazione dall'estero di un tipo di risorsa limitata e in via di esaurimento (i combustibili fossili) con un'altra risorsa altrettanto limitata e in via di esaurimento (l'uranio).

Al momento, dovrebbe essere chiaro che nessuna tecnologia esistente o ragionevolmente sviluppabile in tempi brevi può sostituire il petrolio agli stessi bassi costi e con le stesse caratteristiche di versatilità che hanno reso possibile l'attuale sistema economico e industriale. In altre parole, non è pensabile che il declino del petrolio e dei fossili si possa compensare automaticamente solo con incrementi produttivi da parte di altre fonti; meno che mai con la fissione nucleare. Sarà dunque necessario anche un contenimento dei consumi che potrà risultare sia da una migliore efficienza nell'uso dell'energia sia da una contrazione di certe attività economiche particolarmente voraci nell'uso di energia.

In questa prospettiva, un paese come l'Italia potrà trovare la sua migliore vocazione impegnandosi principalmente sull'efficienza energetica e fonti rinnovabili, queste ultime disponibili in abbondanza in forma di energia solare, diretta e indiretta. L'energia rinnovabile è oggi una serie di tecnologie che hanno raggiunto la maturità tecnica sul piano dell'affidabilità e che si stanno sviluppando con rapidità impressionante. Rimane davanti a noi il grande impegno, finanziario e tecnico, di diffondere l'energia rinnovabile sul territorio adattando l'attuale rete elettrica a riceverla. Questo impegno è, tuttavia, non solo un peso ma anche un'opportunità di creare una nuova industria, nuovi posti di lavoro e nuove competenze.

Comunque la si voglia vedere, il problema energetico ci accompagnerà per decenni nel futuro e lo si può risolvere solo con investimenti a lungo termine. Ma è impensabile che gli operatori preposti a investire sull'energia lo facciano in un clima politico che vedrebbe il necessario sostegno finanziario e legislativo per una o un'altra tecnologia andare e venire in dipendenza dei risultati delle elezioni. La questione energetica in Italia ha bisogno prima di tutto di un accordo che veda al primo posto il bene del paese. Se riusciamo a lavorare con coerenza verso un nuovo paradigma energetico, l'attuale crisi del petrolio e dei combustibili fossili non sarà un problema ma un'opportunità per rinnovare il sistema produttivo del paese e renderlo nuovamente competitivo.

## **7. Bibliografia**

I costi del nucleare sono analizzati in un articolo di Domenico Coiante pubblicato a:  
<http://www.aspoitalia.net/images/stories/coiante/coiantenucleare2.pdf>

Un'esposizione divulgativa del concetto di EROEI si trova in un articolo di Ugo Bardi a:  
<http://www.aspoitalia.net/documenti/bardi/eroei/eroei.html>

La questione dell'EROEI del nucleare è complessa; un articolo (in inglese) che la esamina nel contesto dei valori delle altre tecnologie si trova a  
[http://www.isa.org.usyd.edu.au/publications/documents/ISA\\_Nuclear\\_Report.pdf](http://www.isa.org.usyd.edu.au/publications/documents/ISA_Nuclear_Report.pdf)

Sempre sull'EROEI delle varie fonti, vale la pena di leggere l'articolo di Charles Hall (in inglese) pubblicato su "The Oil Drum" a <http://www.theoil drum.com/node/3810>

La questione della disponibilità di uranio minerale è esaminata in dettaglio in uno studio dell'"Energy Watch Group" (in inglese) che si trova a:  
[http://www.lbst.de/publications/studies\\_e/2006/EWG-paper\\_1-06\\_Uranium-Resources-Nuclear-Energy\\_03DEC2006.pdf](http://www.lbst.de/publications/studies_e/2006/EWG-paper_1-06_Uranium-Resources-Nuclear-Energy_03DEC2006.pdf)

Una discussione sulle prospettive dell'estrazione di uranio dall'acqua di mare si trova in un testo di Ugo Bardi a  
<http://aspoitalia.blogspot.com/2007/12/si-pu-estrarre-uranio-dallacqua-di-mare.html>

Una comparazione fra Italia e Francia in termini della struttura di produzione dell'energia è stata sviluppata da Eugenio Saraceno e la si trova a:  
[http://www.aspoitalia.net/images/stories/saraceno/nucleare\\_mito-realta.pdf](http://www.aspoitalia.net/images/stories/saraceno/nucleare_mito-realta.pdf)

A proposito della questione dell'idrogeno come tecnologia ausiliaria al nucleare, si veda l'articolo di Domenico Coiante  
<http://www.aspoitalia.net/documenti/coiante/nucleareidrogeno.html>

ASPO-Italia aveva già diffuso in una forma più concisa le opinioni espresse nel presente documento a:  
<http://aspoitalia.blogspot.com/2007/11/aspo-italia-sullenergia-nucleare.html>

Si veda anche il "Piano energetico di ASPO-Italia" preparato da Eugenio Saraceno e disponibile a:  
<http://www.aspoitalia.net/images/stories/saraceno/PEN-ASPO-It.pdf>

L'eolico di alta quota ("kitegen") citato nel testo si trova descritto a  
[www.kitegen.com](http://www.kitegen.com)