



di Alessandro Clerici

ABB SpA - Presidente Onorario WEC Italia

## IL NUCLEARE: LO SVILUPPO AL 2/11/2010

*Si riporta la situazione energetica mondiale e dei reattori nucleari con i programmi di estensione della loro vita.*

*Per nuove centrali viene fornito il costo del kWh e le prospettive di sviluppo futuro. Si conclude con considerazioni sul possibile piano nucleare in Italia e sull'opinione pubblica.*

**N**egli ultimi quindici anni la situazione mondiale nel settore energetico, ed in particolare in quello elettrico, ha visto cambi sostanziali che vanno dall'espandersi delle privatizzazioni dei precedenti monopoli alle conseguenti aperture dei mercati; da un prezzo del petrolio basso ad un picco nel 2008 vicino ai 150 \$/barile, seguito da una crisi con crollo di prezzi mondiali e consumi, specie nei Paesi industrializzati; da un progressivo prorompere delle problematiche ambientali alle conseguenti politiche, specie in Europa, della penalizzazione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e parallele incentivazioni alle rinnovabili; da un'esplosione dello sviluppo dei consumi in Paesi come India e Cina al permanere di oltre 1,5 miliardi di persone senza elettricità nel mondo.

Con particolare riferimento al settore elettrico, la Tab. 1 riassume la situazione mondiale, europea ed italiana per le fonti di provenienza per l'elettricità e mostra chiaramente l'impatto dei combustibili fossili; in particolare l'Italia, a causa del suo costoso mix (poco carbone, no nucleare e con gas sempre più importante e legato al prezzo del petrolio) e per la forte percentuale da combustibili fossili importati, si trova in una situazione critica per sicurezza di approvvigionamenti, riduzione

delle emissioni, competitività e stabilità dei prezzi dell'energia.

Proprio i problemi ambientali, la volatilità dei prezzi delle fonti fossili e la sicurezza degli approvvigionamenti hanno portato, negli ultimi anni, ad

Tab. 1 - Produzione energia elettrica nel 2008 (elaborazioni dati da Terna -WEC- Enerdata)

	<b>Mondo</b> (~19000 TWh)	<b>Europa 27</b> (~3200 TWh)	<b>Italia (*)</b> (~315 TWh)
<b>Carbone</b>	~40%	~30%	~16%
<b>Gas</b>	~17%	~21%	~53%
<b>Idro</b>	~17%	~9%	~15%
<b>Nucleare</b>	~14%	~30%	-
<b>Prodotti petroliferi</b>	~7%	~4%	~10%
<b>Eolico</b>	~1,3%	~4%	~2%
<b>Fotovoltaico</b>	~0,08%	~0,1%	~0,1%
<b>Altri</b>	~4%	~2%	~4,2% (*)

(\*) L'Italia ha importato circa il 13% di energia elettrica da aggiungere alla produzione locale  
 (\*) Biomasse 2,3 (delle quali 60% RSU) e Geotermia 1,7%

Italia: ~80% da combustibili fossili  
 Mondo: ~66% da combustibili fossili  
 EU 27: ~55% da combustibili fossili

una forte riconsiderazione del nucleare in molti Paesi ed a un suo “rinascimento”, dopo la frenata a fine degli anni Ottanta a seguito di Chernobyl e dei bassi costi del petrolio. Il nucleare è privo infatti di emissioni di CO<sub>2</sub>, il combustibile incide marginalmente sui costi e proviene da una varietà di Paesi, una “carica” di combustibile dura circa due anni con le nuove centrali ed è facilmente stoccabile (sicurezza approvvigionamenti, pratica costanza del costo dell’energia anche al variare drastico dei prezzi dell’uranio).

Sebbene non sia ancora chiaro in termini temporali e quantitativi il post-crisi specie nei Paesi industrializzati, essendo le problematiche energetiche caratterizzate da tempi lunghi (una nuova centrale nucleare è prevista per rimanere in esercizio 60 anni), non si possono rimandare decisioni strategiche legate anche agli impegni per l’ambiente e quindi a produzione di elettricità, priva di emissioni di CO<sub>2</sub>. Ma qual è la situazione attuale del nucleare nel mondo?

### Centrali in esercizio ed in costruzione nel mondo al 2 novembre 2010

La Tab. 2 riporta la situazione attuale per le centrali in servizio (contribuiscono per il 14% alla totale produzione di elettricità) ed in costruzione nei vari Paesi. Occorre notare come nella sola Cina siano in costruzione 24 reattori ed in Russia 11.

La Tab. 3 riporta i reattori in esercizio ed in costruzione suddivisi per continenti; appare chiaramente come l’Europa sia il continente con il maggior numero di reattori in esercizio e l’Asia (effetto Cina) con il maggior numero di reattori in costruzione.

La Fig. 1 riporta l’età di funzionamento dalla loro entrata in servizio dei 441 reattori nel mondo e la Tab. 4, le tecnologie dei relativi reattori. Appare chiara la grande prevalenza dei reattori PWR (Pressurised Water Reactors) di derivazione Westinghouse, e tale prevalenza risulta ancor più spiccata (oltre l’80%) nei reattori in costruzione.

Tab. 2 - Reattori nucleari in servizio o in costruzione nel mondo al 2/11/2010

Reattori nucleari in servizio o in costruzione nel mondo al 2/11/2010							
Nazione	Impianti in esercizio (1)		Impianti in costruzione		Energia elettrica da nucleare nel 2009		Uranio nel 2009 ton
	N. unità	Totale MW(e)	N. unità	Totale MW(e)	TWh	% totale	
USA	104	100.747	1	1.165	809,00	20,17	18.867
Francia	58	63.130	1	1.600	418,03	75,17	10.569
Giappone	54	46.823	2	2.650	240,05	28,89	8.388
Russia	32	22.693	11	9.153	152,01	17,82	3.537
Germania	17	20.490	0	0	140,09	26,12	3.398
Corea del Sud	21	18.665	5	5.560	144,03	34,79	3.444
Ucraina	15	13.107	2	1.900	84,03	48,59	1.977
Canada	18	12.569	0	0	88,06	14,83	1.670
Gran Bretagna	19	10.137	0	0	52,05	17,92	2.059
Svezia	10	9.303	0	0	61,03	37,40	1.395
Cina	13	10.048	24	24.620	65,03	1,89	2.010
Spagna	8	7.514	0	0	56,04	17,49	1.383
Belgio	7	5.934	0	0	43,04	51,65	1.002
Taiwan	6	4.980	2	2.600	39,30	20,70	831
India	19	4.189	4	2.506	13,02	2,16	961
Repubblica Ceca	6	3.678	0	0	25,00	33,77	610
Svizzera	5	3.238	0	0	26,03	39,50	531
Finlandia	4	2.716	1	1.600	22,00	32,87	446
Bulgaria	2	1.906	2	1.906	14,07	35,90	260
Ungheria	4	1.889	0	0	14,00	42,98	274
Sud Africa	2	1.800	0	0	12,07	4,84	303
Brasile	2	1.884	1	1245	14,00	2,93	308
Slovacchia	4	1.762	2	782	15,05	53,50	251
Messico	2	1.300	0	0	9,04	4,80	242
Romania	2	1.300	0	0	7,01	20,62	174
Lituania	0	0	0	0	9,01 (2)	16,23	0
Argentina	2	935	1	692	6,08	6,95	122
Slovenia	1	666	0	0	6,00	37,80	137
Olanda	1	487	0	0	3,09	3,70	97
Pakistan	2	425	1	300	1,07	2,74	65
Armenia	1	375	0	0	2,03	44,95	51
Iran	0	0	1	915	0,00	0,00	143
<b>TOTALE</b>	<b>441</b>	<b>374.690</b>	<b>61</b>	<b>59.194</b>	<b>2.590,36</b>		<b>65.505</b>

(1) + 4 reattori in riabilitazione per 2.530 MW  
 (\*) ~ 25 tU/TWh = 29,5 t U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>/TWh  
 (2) Sarà 0 dal 2010 per chiusura centrale Ingalina  
 Elaborazione di A. Clerici su fonte IAEA

Dati i bassissimi costi di esercizio delle vecchie centrali nucleari ormai ammortate (circa 20 €/MWh [1] contro gli attuali 60-70 in Italia, scesi dai 110 € del picco a fine 2008) la quasi totalità di esse sta avendo un’estensione della vita, previa adeguate verifiche, di 20 anni rispetto ai circa 40 previsti inizialmente. Negli Stati Uniti 59 dei 104 reattori installati, hanno già ottenuto l’estensione della vita di 20 anni, il 20% è in fase di esame dalla

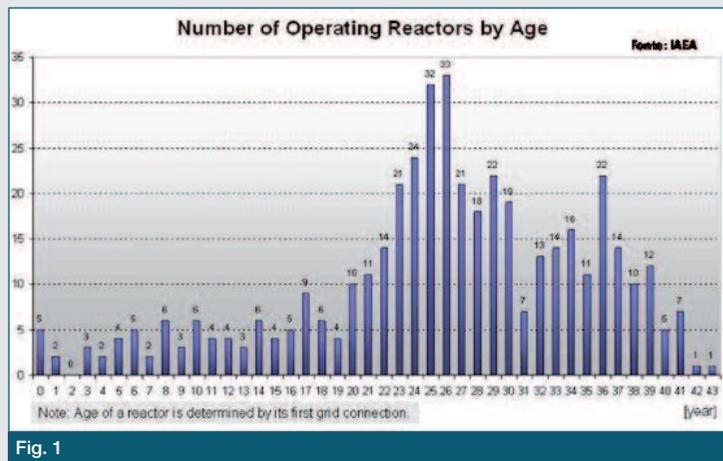


Fig. 1

Tab. 3 - Reattori in servizio o in costruzione per continente al 2/11/2010

	Reattori in servizio o in costruzione per continente al 2/11/2010			
	In esercizio (1)		In costruzione (2)	
	N.	MW	N.	MW
Europa	195	169.950	19	16.941
Nord America	124	114.616	1	1.165
Asia	116	85.505	39	39.151
Sud America	4	2.819	2	1.937
Africa	2	1.800	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>441</b>	<b>374.690</b>	<b>61</b>	<b>59.194</b>

Elaborazione A. Clerici su fonte IAEA

(1) Per la maggior parte dei reattori in esercizio estensione della vita di circa 20 anni.  
 (2) Principali paesi con reattori in costruzione: Cina n° 24 reattori - Russia 11 - Sud Corea 5 - India 4 - n° 2 reattori per Giappone, Slovacchia, Bulgaria, Taiwan, Ucraina e n° 1 reattore per Argentina, Brasile, Finlandia, Francia, Iran, Pakistan, USA.

Tab. 4 - Reattori in servizio per tipologia

Tipologia	N° di unità		Totale MW (e)	
BWR	~21%	92	~ 22%	83829
FBR	~ 0%	1	~ 0%	560
GCR	~ 4%	18	~ 2%	8949
LWGR	~ 3%	15	~ 3%	10219
PHWR	~ 10%	46	~ 6%	22840
PWR	~ 62%	269	~ 67%	248295
<b>Totale:</b>	<b>100%</b>	<b>441</b>	<b>100%</b>	<b>374692</b>

Elaborazione A. Clerici su fonte IAEA

competente autorità e circa il 15% con richieste in preparazione. Lo stesso sta avvenendo in tutti i Paesi europei ed anche la Germania ha deciso in questi giorni di seguire tale strada.

di 2 reattori da 1.600 MW e la Romania sta definendo la realizzazione dei Gruppi 3 e 4 di Cernovada da 700 MW ciascuno. In Bulgaria è in fase di riesame l'assetto societario per 2 reattori da 1.000 MW e la Repubblica Ceca ha iniziato le procedure per 2 nuove centrali, mentre la Repubblica Slovacca ha in programma di completare con Enel per il 2013, 2 reattori da 400 MW ciascuno.

È interessante notare come gli Emirati Arabi, pur con enormi risorse d'idrocarburi, abbiano recentemente ordinato ai Sud Coreani 4 reattori da 1.400 MW ciascuno. La Turchia ha concluso in questi giorni un accordo preliminare con la Russia per 4 gruppi da 1.200 MW ciascuno e sta concludendo un altro accordo con i Coreani.

Chiaramente specie in Europa occorrerà verificare l'effetto della crisi finanziaria ed economica su tali programmi, visto il calo dei consumi specie industriali e negli Stati Uniti l'effetto del "boom" dello "shale gas" (gas da scisti) con crollo del prezzo del gas stesso.

## I programmi mondiali di sviluppo

Oltre 40 Paesi al mondo hanno pianificato od hanno in considerazione lo sviluppo del nucleare; in particolare secondo i dati della WNA (World Nuclear Associations) 140 reattori, per totali ~150.000 MW, sono stati pianificati (ed in gran parte previsti in esercizio entro 10-12 anni) ed addizionali 315 reattori per 350.000 MW sono in fase di considerazione.

La Cina prevede in servizio per il 2030 circa 200.000 MW di nucleare, l'India 21.000 MW nel 2020 e 63.000 nel 2030, il Giappone ha confermato di mantenere anche oltre il 2030 una quota del nucleare fra il 30 e 40% con 13 nuovi reattori pianificati, la Corea del Sud ha in programma altri 8.000 MW, oltre agli attuali 8.000 MW in costruzione. Negli Stati Uniti l'Energy Act del 2005 del Governo Bush ha portato a richieste d'interesse e/o di autorizzazione per 33 reattori per 45.000 MW ed il Governo di Obama ha fornito le prime garanzie di credito per 2 reattori che dovrebbero entrare in servizio nel 2016. A fine 2009 erano presenti 16 richieste di licenze per totali 24 reattori.

Per quanto riguarda l'Europa, la Russia ha in programma 40.000 MW di nuove centrali da qui al 2030, l'Inghilterra vede 4 reattori EPR per 6.400 MW proposti da EDF che si aggiungono a quelli da 6.000 MW della joint venture EON-RWE nota come "Horizon Nuclear Power" ed ai 3.600 MW proposti da Iberdrola con GdF. La Lituania, in collaborazione con Estonia, Lettonia e Polonia, sta esaminando la realizzazione

## Riserve di uranio

Per quanto riguarda l'uranio, l'ultimo Red Book della IAEA prevede che con le tecnologie di oggi dei reattori già costruiti ed in costruzione ci siano 100 anni di vita con gli attuali consumi e con le riserve accertate di uranio estraibile a meno di 130 \$/kg; con tutte le riserve convenzionali di uranio anche superiori ai 130 \$/kg si salirebbe a 300 anni e considerando riserve non convenzionali (fosfati) a 700 anni. Si ricorda che il prezzo dell'uranio incide per qualche % sul costo del kWh dal nucleare.

Con i reattori della quarta generazione (fast-breeder reactors) prevedibili in servizio con taglie commerciali tra circa 30 anni i consumi sarebbero ridotti di oltre 50 volte.

## Rischi, sicurezza ed opposizione al nucleare

Relativamente ai rischi legati al nucleare, si può rilevare che quelli dovuti a possibili incidenti sono praticamente nulli con i nuovi reattori di 3ª generazione, progettati con edifici che resistono all'impatto di grossi aerei. Anche nel rarissimo evento più grave (fusione del nocciolo con probabilità  $10^{-7}$ - $10^{-8}$ ) non vi sono conseguenze esterne. L'opposizione

al nucleare in tutto il mondo è oggi concentrata fondamentalmente sul problema delle scorie a lunghissimo decadimento, per le quali, dopo l'iniziale stoccaggio presso le centrali, esistono 3 approcci:

- riprocessamento (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).

Gli Stati Uniti stanno rivedendo la loro politica. Per lo stoccaggio con la tecnologia svedese (massimo dei volumi), il totale volume delle

Tab. 5 - costo del kWh da nuove centrali di base con le tecnologie attuali: WACC=9%

	Costo (€/kW) (1)	Ore annuali di utilizzo (h)	Costo kWh (€/MWh)					CO2 (g/kWh) (***)	Totale
			capitale + tasse	combustibile (*)	O&M+ altri (**)	Totale senza CO2	CO2 (g/kWh) (***)		
Gas CC	600 - 800	(4500 - 6500)	10 - 19	40 - 110	4 - 6	54 - 135	9,5 - 19	63,5 - 154	
Carbone	1300 - 1700	(6000 - 7500)	16,5 - 26,5	16 - 48	9 - 13	41,5 - 87,5	19 - 38	60,5 - 125,5	
Nucleare	2500(2) - 3500	(7600 - 8000)	36,5 - 53,5	4,5 - 9	7,5 - 14	48,5 - 76,5	-	48,5 - 76,5	
CC (S) (****)	2200 - 2900	(6000 - 7500)	28 - 45	22 - 64	10 - 14	60 - 123	2 - 4	62 - 127	

Elaborazioni da A. Clerici

(1) Campo dei costi di un sito produttivo senza oneri finanziari

(2) Solo per ordini di più centrali con più unità per sito, praticamente non applicabile in Italia

(\*) Gas 0.200 € - 0.570 €/m<sup>3</sup> - Carbone 50 - 150 €/t - Uranio 100 - 300 €/kg

(\*\*) Per il nucleare è incluso lo smantellamento della centrale e lo stoccaggio finale delle scorie

(\*\*\*) CO2: 25 - 50 €/t

(\*\*\*\*) Carbon Capture and Storage (cattura della CO2 da centrali a carbone) senza considerare costi di trasporto e stoccaggio CO2: cattura di CO2 al 90%



scorie prodotte per 60 anni di funzionamento da eventuali 13.000 MW di centrali nucleari in Italia (tali da dare nel 2030 il 25%-30% di energia elettrica dal nucleare) sarebbe inferiore a quello di un cubo di 20 m di lato. Vale la pena di ricordare che in Svezia, due regioni si sono fronteggiate per ospitare “il cimitero finale delle scorie”, ora assegnato a Forsmark.

## Il nucleare in Italia

L'Italia, per le materie prime energetiche, ha attualmente una dipendenza dall'estero dell'86%, tendente a superare il 95% nel 2020; ha inoltre alti costi per la produzione di energia elettrica dovuti al suo mix “particolare” di materie prime (tanto gas, no nucleare e poco carbone). L'Europa dei 27 produce oltre il 60% dell'energia elettrica da nucleare e carbone e gli Stati Uniti oltre il 70%. L'efficienza energetica e l'opzione nucleare non possono quindi essere trascurate, con il nucleare fondamentale per bassi costi “globali”.

Il Governo Berlusconi ha inserito il nucleare nel suo programma con l'intenzione di iniziare, entro la scadenza del mandato, la costruzione della prima centrale e sono stati emanati decreti legislativi nel 2009 e quello relativi ai siti nel febbraio 2010. Anche nell'ipotesi che sia già funzionante l'Agenzia Nucleare, supponendo i vari decreti attuativi escano nei tempi prefissati e non ci siano intoppi, occorrono per un investitore almeno 36 mesi dalla richiesta di un sito per avere la certificazione che deve essere seguita dalla successiva autorizzazione alla costruzione ed all'esercizio della centrale. Chiaramente solo dopo tale autorizzazione sarà possibile chiudere il project financing per gruppi che valgono 4-5 miliardi di euro ciascuno e passare gli ordini per la costruzione che prevede circa 5-6 anni.

Ma quali sono i costi della possibile energia prodotta da nuove centrali nucleari comparati a quelle di altro tipo?

Chiaramente ha senso confrontare il nucleare con altre centrali di base a carbone ed a gas e la Tab. 5 riporta per condizioni italiane un confronto basato sulla metodologia WACC (Weighted Average Cost of

Capital) che tiene conto di una media pesata tra costo del denaro proprio e quello preso a prestito e delle tasse.

Per le centrali a ciclo combinato a gas, a carbone e nucleare sono stati presi rispettivamente un periodo di ammortamento e di esercizio pari a 20, 30 e 40 anni ed un periodo di costruzione di 2, 4 e 6 anni.

Considerando i lunghissimi cicli di vita nel settore energetico e quindi la necessità di scenari sul medio-lungo termine, è stata considerata un'ampia gamma di variazioni specie per i costi di combustibile corrispondenti ad un prezzo del petrolio da circa 50 a 150 \$/barile; i valori utilizzati per le CO<sub>2</sub> sono in calce alla tabella e vanno da 0 a 50 €/ton.

Il nucleare, data anche la sua potenzialità (1.000 MW di potenza installata producono 8 TWh/anno di elettricità senza CO<sub>2</sub> mentre con l'eolico on-shore nel migliore dei casi se ne produrrebbero in Italia 2), risulta un'opzione interessante per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> dal punto di vista economico. Altri vantaggi riguardano la sicurezza degli approvvigionamenti, la non volatilità dei prezzi dell'energia e la ricaduta su un'industria italiana che, opportunamente qualificata a lavorare in garanzia di qualità, potrebbe contribuire fino ad un 75% del valore di una centrale di 5 miliardi con forniture per ingegneria di dettaglio, opere civili, sistemi e componenti termo-elettromeccanici ed installazioni. Il nucleare va visto infatti non solo in un'ottica di costo dell'energia elettrica ma di politica industriale che porterebbe a sostituire costi all'estero di materie prime energetiche (vedi gas) con lavoro e forniture italiane alle quali verrebbe aperto anche l'interessante mercato estero.

Il rischio per il nucleare in Italia è quello della finanziabilità, legata a stabilità politica e legislativa ed alla tempistica delle autorizzazioni; e questo significa “accettabilità” non solo a livello “statistico” e nazionale ma a livello regionale e locale.

In ogni caso per il successo di un eventuale piano energetico in Italia, e nucleare in particolare, è essenziale la massima trasparenza ed informare i cittadini in maniera capillare, responsabile, *bipartisan*, focalizzandosi sui problemi dell'energia e dell'ambiente e non sul solo nucleare. Proprio questa fase, purtroppo, non è ancora iniziata in modo sistematico.

Occorre, che l'informazione sia veicolata da enti e figure credibili, con chiare capacità di comunicazione, portando le persone a ragionare su dati, fatti e costi (inclusi quelli ambientali). È questo il problema di fondo.

In conclusione nessuna fonte energetica deve essere idolatrata o demonizzata. Il nucleare, come le fonti fossili, che continueranno per vario tempo a fornire l'indispensabile energia elettrica di base e/o programmabile (verosimilmente emettendo meno CO<sub>2</sub> grazie alle tecnologie), daranno l'indispensabile riserva alle aleatorie rinnovabili, permettendo di avere in modo affidabile l'energia richiesta per uno sviluppo sempre più sostenibile.

### Bibliografia

[1] WEC - World Energy Council - “The Role of Nuclear Power in Europe” dal WG presieduto da A. Clerici - Gennaio 2007 - [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)