

# Il nucleare nel mondo e in Italia: stato attuale e prospettive

Alessandro Clerici<sup>1</sup> ABB

*A seguito di una revisione della situazione ai primi di giugno del 2009 e degli sviluppi previsti a livello mondiale, si riportano le considerazioni sul possibile ritorno al nucleare del nostro Paese e vengono dati ampi dettagli sull'imponente piano di sviluppo nucleare in Cina.*

## Introduzione

**I**l sistema elettrico italiano, è sempre più sbilanciato come sorgenti primarie per produrre elettricità verso il gas (ormai vicino al 60%), con un carbone sotto il 20% (contro una media mondiale ed Europea del 40% e del 32% rispettivamente) e con un contributo dall'idroelettrico intorno al 13-15% e soggetto alle variazioni climatiche; senza un'opzione nucleare (30% media Europea) si troverà sempre più soggetto a:

- volatilità dei prezzi del kWh legato al prezzo del gas, a sua volta legato a quello del petrolio;
- gravi problematiche per la sicurezza degli approvvigionamenti (vedi Ucraina) anche se nel medio periodo potremo avere un eccesso di offerta del gas;
- costi e quindi prezzi dell'energia elettrica elevati rispetto ai concorrenti e specie nei periodi di alti prezzi del petrolio che, a parte speculazioni, saranno sempre più soggetti al rialzo quanto più l'offerta andrà riducendosi nei prossimi decenni.

Chiaramente la recente crisi mondiale ha notevolmente ridotto i consumi, specie industriali, alleviando (posticipando) le problemati-

che relative all'incremento della domanda come previsto a metà 2008; sebbene non sia ancora chiaro in termini temporali e quantitativi il post-crisi, essendo le problematiche energetiche caratterizzate da tempi lunghi (una nuova centrale nucleare è prevista per rimanere in esercizio 60 anni), non si può rimandare decisioni strategiche legate anche agli impegni per l'ambiente e quindi a produzione di elettricità priva di emissioni di CO<sub>2</sub>.

Con il presente articolo viene aggiornato al 01/06/2009 il panorama mondiale sul nucleare [1, 2, 3] e vengono riportate alcune considerazioni sulla situazione italiana a seguito di quanto dichiarato dal nuovo governo al suo insediamento, "prima pietra di nuove centrali nucleari entro la scadenza del mandato" (aprile 2013), e quanto approvato dal Parlamento a luglio 2009.

## Centrali in esercizio e in costruzione: la situazione al 01/06/2009

La situazione è riassunta nella **tabella 1** per quanto riguarda gli impianti in esercizio ed in costruzione e la loro potenza; nella stessa tabella sono riportati i TWh nucleari prodotti dalle varie nazioni e la percentuale di elettricità dal nucleare. Viene pure riportata la richiesta di uranio per la produzione prevista nel 2009.

<sup>1</sup> Chairman del Gruppo di Lavoro WEC "The role of nuclear power in Europe"; Presidente Onorario WEC Italia.

## energia nucleare

**Tabella 1** Reattori nucleari in servizio o in costruzione nel mondo al 01/06/2009 (Elaborazione da dati WNA)

NAZIONE	IMPIANTI IN ESERCIZIO		IMPIANTI IN COSTRUZIONE		ENERGIA ELETTRICA DA NUCLEARE NEL 2008		RICHIESTA URANIO NEL 2009
	N. UNITÀ	TOTALE MW(e)	N. UNITÀ	TOTALE MW(e)	TWh	% TOTALE	t
USA	104	101.119	1	1.180	809,00	19.07	18.867
Francia	59	63.473	1	1.630	418,03	76.02	10.569
Giappone	53	46.236	2	2.285	240,05	24.09	8.388
Russia	31	21.743	8	5.980	152,01	16.09	3.537
Germania	17	20.339	0	0	140,09	28.03	3.398
Corea del Sud	20	17.716	5	5.350	144,03	35.06	3.444
Ucraina	15	13.168	0	0	84,03	47.04	1.977
Canada	18	12.652	2	1.500	88,06	14.08	1.670
Gran Bretagna	19	11.035	0	0	52,05	13.05	2.059
Svezia	10	9.095	0	0	61,03	42.00	1.395
Cina	11	8.587	12	12.100	65,03	2.02	2.010
Spagna	8	7.448	0	0	56,04	18.03	1.383
Belgio	7	5.728	0	0	43,04	53.08	1.002
Taiwan	6	4.927	2	2.600	39,30	17.10	831
India	17	3.779	6	2.976	13,02	2.00	961
Repubblica Ceca	6	3.662	0	0	25,00	32.05	610
Svizzera	5	3.237	0	0	26,03	39.02	531
Finlandia	4	2.696	1	1.600	22,00	29.07	446
Bulgaria	2	1.906	0	0	14,07	32.09	260
Ungheria	4	1.826	0	0	14,00	37.02	274
Sud Africa	2	1.842	0	0	12,07	5.03	303
Brasile	2	1.901	0	0	14,00	3.01	308
Slovacchia	4	1.688	2	840	15,05	56.04	251
Messico	2	1.310	0	0	9,04	4.00	242
Romania	2	1.310	0	0	7,01	17.05	174
Lituania	1	1.185	0	0	9,01	72.09	0
Argentina	2	935	1	692	6,08	6.02	122
Slovenia	1	696	0	0	6,00	41.07	137
Olanda	1	485	0	0	3,09	3.08	97
Pakistan	2	400	1	300	1,07	1.09	65
Armenia	1	376	0	0	2,03	39.04	51
Iran	0	0	1	915	0,00	0.00	143
<b>Totale</b>	<b>436</b>	<b>372.500</b>	<b>45</b>	<b>39.948</b>	<b>2.590,36</b>		<b>65.505</b>

La **tabella 2** riporta la suddivisione per continente dei reattori in servizio ed in costruzione.

I primi 10 Paesi per entità del nucleare installato producono oltre l'85% della totale energia nucleare generata annualmente (~2.600 TWh pari a ~ 14% dell'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 (~101 GW) seguiti dalla Francia (59 reattori per totali 63 GW) la quale ha oltre il 76% di energia elettrica dal nucleare.

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

Nel 2008 la produzione mondiale dal nucleare è scesa del 2,5% rispetto al 2007 (~60 TWh).

Le principali riduzioni sono state in:

❑ Canada ~ 48 TWh (long-term shut down di 4 reattori).

❑ Giappone ~ 26 TWh (effetto terremoto di 2 anni orsono alla più grande centrale nucleare del mondo).

❑ Gran Bretagna ~ 9 TWh

compensate da produzione praticamente uguale od in aumento negli altri Paesi (Germania + 7,5 TWh).

Per quanto riguarda la suddivisione dell'installato per continenti, l'Europa è sempre in testa con il 45%, seguita da Nord America (28%) ed Asia (25%).

Per quanto concerne le centrali in costruzione, l'Asia ne ha oltre il 60% seguita dall'Europa; la Cina è la nazione con il massimo numero di centrali in costruzione e, come si vedrà in seguito, tale primato andrà sempre più consolidandosi, dati gli impressionanti programmi di sviluppo cinesi che non sembrano scalfiti per il nucleare dalla presente crisi mondiale.

## L'estensione della vita delle centrali in esercizio

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 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 le due aree più critiche per "vecchiaia" delle centrali sono l'Europa Occidentale ed il Nord America.

In Europa ed in Nord America, risultando ammortate la quasi totalità delle centrali, il

**Tabella 2** Reattori in servizio o in costruzione per continente al 01/06/2009 (Eleborazione da dati WNA)

	IN ESERCIZIO		IN COSTRUZIONE	
	N.	MW	N.	MW
Europa	196	170.720	12	10.050
Nord America	124	115.081	3	2.680
Asia	110	82.021	29	26.526
Sud America	4	2.836	1	692
Africa	2	1.842	0	0
<b>Totale</b>	<b>436</b>	<b>372.500</b>	<b>45</b>	<b>39.948</b>

**Principali Paesi con reattori in costruzione:**  
Cina 12 - Russia 8 - India 6 - Corea del Sud 5

costo di produzione si riduce ai costi di [4]:

❑ O&M (*Operation and Maintenance*) + Assicurazioni 4 – 7 €/MWh;

❑ combustibile 4,5 – 9 €/MWh (con uranio da 75 a 300 \$/kg);

❑ "Decommissioning" e management delle scorie (2 – 4 €/MWh).

Il costo totale è inferiore ai 20 €/MWh e quindi altamente competitivo.

Un'estensione della vita delle centrali nucleari, previ adeguati controlli, sarebbe un fattore di stabilità per i prezzi dell'energia elettrica e per la sicurezza degli approvvigionamenti e porterebbe sostanziali contributi (difficilmente sostituibili) alla riduzione delle emissioni.

Negli Stati Uniti già 51 reattori hanno avuto l'estensione a 60 anni; oltre l'80% dei reattori saranno operanti per altri 20 anni rispetto alle iniziali licenze. Per l'Europa sono state definite o in definizione estensioni della vita delle centrali in Francia, Olanda, Finlandia, Bulgaria, Repubblica Ceca, Romania, Slovenia, Svezia e Svizzera.

In Belgio e Spagna la situazione non è definita sebbene in Spagna sia stata in luglio concessa l'estensione della vita per la prima centrale nucleare costruita nel Paese.

L'eventuale uscita della Germania dal nucleare sarebbe un dramma per tutta l'Europa (emissioni CO<sub>2</sub>, costo del kWh e del gas).

## Sviluppo di nuove centrali nucleari e loro costi – le scorie

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, comprendendo nei costi di ogni alternativa sia gli impatti ambientali sia i costi indiretti sul sistema elettrico globale 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.

La tecnologia che continua ad imporsi sul mercato delle centrali nucleari è quella dei nuovi reattori (terza 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 1.200 MW GE); Areva ha in sviluppo un aumento di potenza a 1.250 MW del suo SWR;
- reattori "pressurised water" (EPR di Areva da ~1.650 MW, AP 1.000 da ~1.150 MW di Westinghouse e V V ER da 1.000 o da 1.200 MW di AEP Russia). Occorre notare l'accordo Rosatom Siemens in fase di definizione dopo il "divorzio" di Siemens da Areva;
- il reattore canadese Candu da circa 700 MW che è in fase di *up-grading* a 1.000 MW.

Dall'inizio 2008 Mitsubishi ha proposto negli Stati Uniti il reattore US - APWR da 1.700 MW (evoluzione della tecnologia Westinghouse) ed i sud coreani stanno proponendo il reattore AP 1.400 (evoluzione di tecnologia Combustion Engineering) per reattori di prossima implementazione in Finlandia.

I reattori della terza generazione ora proposti hanno una vita progettata per 60 anni di esercizio, 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.

Se definite tutte le autorizzazioni e procedure, i tempi di costruzione (dal getto iniziale di calcestruzzo alla connessione alla rete) sono di circa 5 anni per la prima unità di un sito green-field; per unità successive il tempo può essere ridotto.

Senza considerare i reattori russi e cinesi, i 2 reattori che si stanno ad ora imponendo maggiormente sono l'EPR di Areva (2 unità da tempo in costruzione a Flamanville ed Olkiluoto, 2 reattori ordinati dalla Cina ed 1 da EdF e 8 implementazioni in definizione tra Stati Uniti e Inghilterra) e l'AP 1000 di Westinghouse con 4 unità in costruzione in Cina e 6 reattori con contratti EPC ottenuti negli Stati Uniti.

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) esso dipende:

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

A causa dell'escalation dei prezzi delle materie prime (acciaio, cemento, rame ecc.) e della forte domanda, i prezzi offerti nel 2008 e noti sono ben superiori ai 2000 €/kW iniziali relativi al progetto sia francese (Flamanville) sia finlandese (Olkiluoto 3), entrambi con 1 nuovo reattore per sito, comprendente 2 "vecchi" reattori in funzione. EdF ha comunicato che Flamanville a fine 2008 costa 2500 €/kW.

Le analisi in corso in Finlandia da parte di 3 gruppi di investitori che stanno proponendo la sesta centrale nucleare, in parte confermate da indiscrezioni sugli ultimi ordini negli Stati Uniti, portano a valori anche oltre i 3.000 €/kW.

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.

Di notevole interesse come approccio rimane quello finlandese da me più volte menzionato negli ultimi anni e relativo alla centrale di Olkiluoto 3 (figura 1). Lo stesso approccio è applicato per alcune proposte relative alla sesta centrale nucleare finlandese.

Con tale schema e con i rischi sopra citati praticamente nulli, i finlandesi sono riusciti a 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 ~23 €/MWh il costo attribuibile all'investimento anche con un costo di impianto di ~3.000 €/kW. Occorre notare che l'energia è ceduta al costo di produzione per

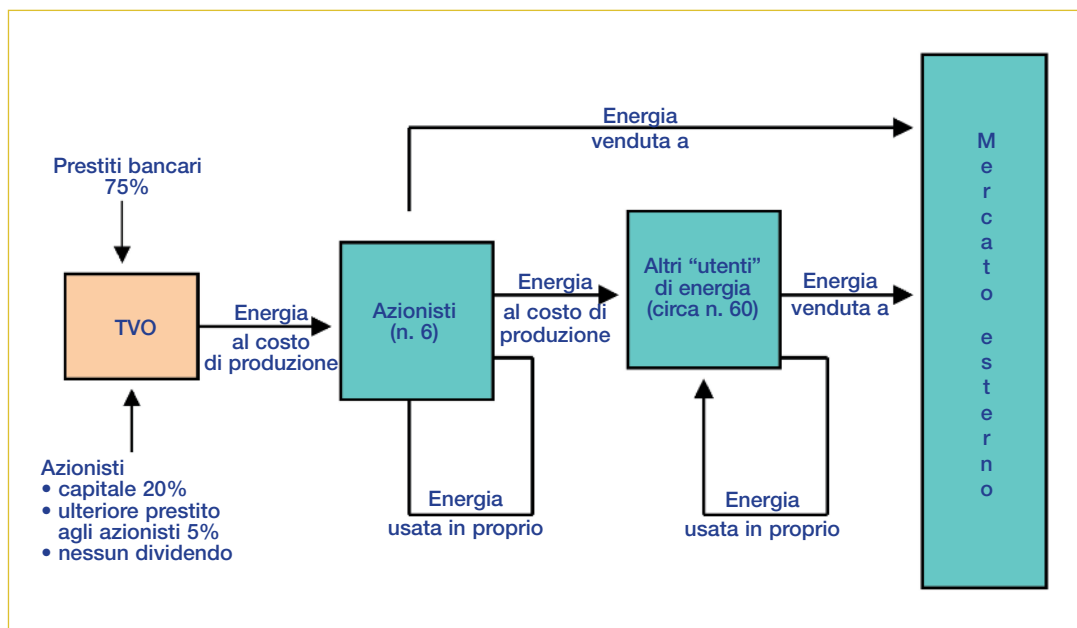


Figura 1 L'approccio TVO per Olkiluoto 3.

40 anni in pro-quota delle azioni dei singoli azionisti (contratti "take or pay") e senza tasse. Gli azionisti hanno messo il loro capitale (20%) senza nessun ritorno; il ritorno positivo è considerato quello di avere per 40 anni energia ad un prezzo ben inferiore a quello del mercato.

Le conclusioni dello studio del WEC da me coordinato [4] e da me aggiornate danno per future centrali in Europa un costo del kWh, esclusa la quota di capitale tra 11,5 e 23 €/MWh, così suddivisi:

- O&M (~6 - 9 €/MWh);
- combustibile prima della produzione di elettricità (4,5 - 9 €/MWh con uranio da 75 a 300 \$/kg);
- "Fuel cycle" (waste management temporaneo + riprocessamento + deposito finale): 2 - 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 fino ed oltre 1.000 \$/kW in funzione del tipo e dimensione della centrale) per un costo previsto di 0,5 - 1 €/MWh.

Per un utilizzo della massima potenza per 8.100 h/anno, il totale costo di produzione, includendo gli oneri di capitale, O&M, combustibile e suo ciclo (incluso "cimitero finale") e decommissioning, può così riassumersi:

- per ordine di un solo reattore
  - 40 - 45 €/MWh e nel solo caso dell'approccio finlandese;
  - 60 - 70 €/MWh per IRR più elevata;

□ per ordini di più centrali con più unità per sito

- tra 50 e 60 €/MWh.

Per un confronto con gli altri costi di produzione di energia elettrica di base (da carbone e gas), anche con pessimistiche valutazioni per gli investimenti per il nucleare (3.500 €/kW nettamente superiori alla recente comunicazione di EDF per Flamanville) e per i costi dell'uranio (~250 €/kg), pure con ottimistici valori per il prezzo futuro del gas (0,3 €/m<sup>3</sup>), del carbone (75 €/t) e della CO<sub>2</sub> (25 €/t), il kWh da nucleare, per ordini di più unità per sito, si attesta a valori inferiori a quelli da ciclo combinato a gas e dal carbone. E questo considerando nel costo del kWh prodotto nei 60 anni di vita dei reattori, gli oneri derivanti dallo smantellamento finale della centrale e dei contributi per il deposito finale delle scorie e prescindendo anche dalla valorizzazione economica degli altri importanti aspetti strategici.

La figura 2 riporta il "full cost" del kWh da una centrale nucleare in funzione del possibile prezzo dell'uranio.

Risulta chiaramente come anche in presenza di fortissime variazioni del prezzo dell'uranio, il costo dell'energia nucleare non vari apprezzabilmente.

Per quanto riguarda i reattori pianificati o in considerazione in 39 Paesi del mondo, la tabella 3 riporta la situazione aggiornata da WNA al 01/06/2009 che, crisi permettendo, è autoesplicativa del rinascimento nucleare in atto a livello globale.

La Cina prevedeva in servizio 40.000 MW

nel 2020 e 120.000 nel 2030. In questi giorni, gli obiettivi sono aumentati del 50% (si veda riquadro a p. 16).

Nuovi scenari a settembre 2008 da IAEA per centrali in servizio al 2030 nel mondo sono:

- Low scenario 473 GW;
- High scenario 748 GW.

Secondo WNA (*World Nuclear Association*) le proiezioni al 2030 sono tra 552 e 1203 GW, rispetto ai 372 GW attuali.

Appare quindi chiaramente come a partire dal 2015-2020 la quota di energia elettrica da nucleare aumenterà in importanza relativa superando il 14% attuale.

Per quanto riguarda la percezione del rischio da parte del pubblico, è ora meno influenzata dal problema di gravi incidenti e più concentrata sul problema delle scorie. In sondaggi condotti in Svizzera, Slovacchia e Stati Uniti, la popolazione residente vicino a centrali nucleari è meno ostile di quella che vive lontano dalle centrali stesse. Il caso più eclatante di cambiamento di opinione rispetto al nucleare è quello della Svezia che nel 1980 (6 anni prima di Chernobyl!) aveva deciso di chiudere tutte le centrali nucleari entro il 2010. Ora oltre l'85% della popolazione non vuole chiudere le centrali ma vuole estenderne la vita e la potenza disponibile (vedi recente decisione presa dal Governo sulla base di tale accettazione dal pubblico).

Due regioni in Svezia si contendevano la localizzazione del "cimitero" finale delle scorie che è stato assegnato in questi giorni a Forsmark.

Relativamente alle scorie ad alta radioattività (SNF=*Spent Nuclear Fuel*), 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).

Da notare infine che gli Stati Uniti stanno ora pensando al riprocessamento per ridurre i volumi dei "cimiteri finali" e l'eventuale loro numero.

Per il diretto stoccaggio di HLW (*High Level Waste*) da SNF occorrono  $\sim 2 \text{ m}^3/\text{t}$  con la tecnologia svedese di involucri di rame e  $\sim 0,5 \text{ m}^3/\text{t}$  con il processo francese di vetrificazione.

Per lo stoccaggio con la tecnologia svedese (massimo dei volumi), il totale volume delle scorie HL prodotte per 60 anni 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.

### La situazione italiana

I problemi ambientali (emissioni della  $\text{CO}_2$ ), i volatili prezzi del petrolio al quale il prezzo del gas è legato, la sicurezza degli approvvigionamenti e l'elevato costo/aleatorietà delle nuove rinnovabili hanno spinto in questi ultimi anni molti Paesi ad esaminare l'opzione nucleare per la quale si sta assistendo a quello che viene chiamato "rinascimento" dopo lo stallo a partire da fine anni 1980. Occorrerà, anche per l'opzione nucleare, verificare gli effetti che l'attuale crisi potrà avere (futuri incrementi di carico e problematiche finanziarie).

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 come accennato all'inizio. Vale la pena di ricordare che l'Europa dei 27 produce oltre il 60% dell'energia elettrica da nucleare e carbone e gli Stati Uniti oltre il 70%.

L'opzione nucleare è stata ripresa in considerazione anche in Italia con chiare dichiarazioni del Governo e leggi appena definite.

Considerando l'enorme problema della sostituzione delle vecchie centrali di base della UE ed il possibile incremento di carico è impossibile raggiungere gli obiettivi di lungo periodo per le emissioni della  $\text{CO}_2$  ed avere sicurezza degli approvvigionamenti con le sole rinnovabili.

L'efficienza energetica e l'opzione nucleare non possono essere trascurate, con il nucleare fondamentale per bassi costi "globali".

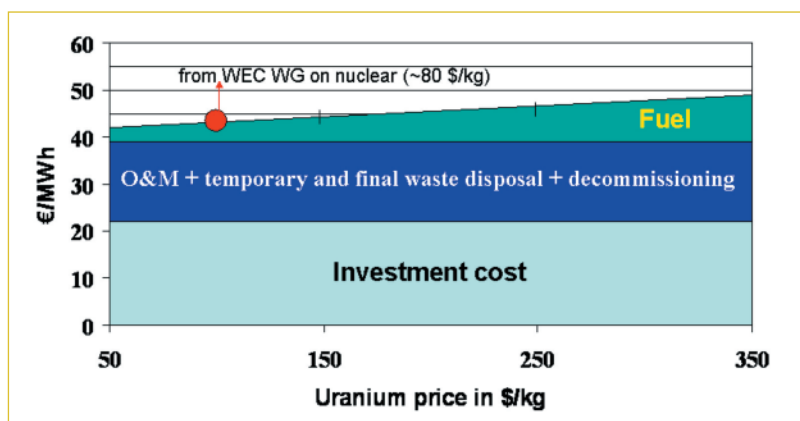


Figura 2 Full cost del kWh prodotto da future centrali nucleari in funzione del prezzo dell'uranio, (8.100 h/anno di funzionamento, per ordine di un una centrale con più unità e con bassa IRR o con una sola unità ma con l'approccio finlandese).

**Tabella 3** Reattori pianificati ed aggiuntivi in considerazione nel mondo al 01/06/2009 (Elaborazione da dati WNA)

NAZIONE	IMPIANTI PIANIFICATI <sup>1</sup>		IMPIANTI ADDIZIONALI IN CONSIDERAZIONE <sup>2</sup>	
	N. UNITÀ	TOTALE MW(e)	N. 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	2	2.000
Brasile	1	1.245	4	4.000
Bulgaria	2	1.900	0	0
Canada <sup>3</sup>	3	3.300	6	6.600
→ Cina	33	35.320	80	93.000
Corea del Nord	1	950	0	0
Corea del Sud	7	9.450	0	0
Egitto	1	1.000	1	1.000
Emirati Arabi	3	4.500	11	15.500
Finlandia	0	0	1	1.000
Francia <sup>4</sup>	1	1.630	1	1.630
→ Giappone	13	17.915	1	1.300
→ Gran Bretagna	0	0	6	9.600
→ India	23	21.500	15	20.000
Indonesia	2	2.000	4	4.000
Iran	2	1.900	1	300
Israele	0	0	1	1.200
Italia	0	0	8	13.000
Kazakistan	2	600	2	600
Lituania	0	0	2	3.400
Messico	0	0	2	2.000
Pakistan	2	600	2	2.000
Polonia	0	0	3	5.000
Repubblica Ceca	0	0	2	3.400
Repubblica Slovacca	0	0	1	1.200
Romania	2	1.310	1	655
→ Russia	8	9.360	28	25.880
Slovenia	0	0	1	1.000
→ Stati Uniti	11	13.820	20	26.000
Sud Africa <sup>5</sup>	3	3.565	20	18.000
Svizzera	0	0	3	4.000
Tailandia	2	2.000	4	4.000
Turchia	2	2.400	1	1.200
Ucraina	2	1.900	20	27.000
Ungheria	0	0	2	2.000
Vietnam	2	2.000	8	8.000
→ Totale	131	142.905	268	313.205

<sup>1</sup> Approvati con fondi già definiti o in definizione; in gran parte previsti in servizio entro 8-10 anni

<sup>2</sup> Chiara intenzione o proposta senza però impegni definitivi

<sup>3</sup> Annullamento a luglio 2009 del piano nucleare di Ontario

<sup>4</sup> Non considerando il piano di sostituzione dei reattori esistenti

<sup>5</sup> Decisione del dicembre 2008 del Board di Eskom di rimandare il piano data la crisi; a maggio 2009 apertura per 4000 MW in servizio nel 2018 (Fonte: Clerici).

## Il nucleare in Cina

La Cina con i suoi 1,35 miliardi di abitanti ed il suo territorio che si estende per oltre 5500 km da Ovest ad Est e 5000 km da Nord a Sud è la nazione al mondo che ha di gran lunga il più imponente programma nucleare in attuazione e previsto per il futuro.

Le attuali centrali in servizio vedono 11 reattori posizionati lungo la costa Est-Sud Est per totali 8600 MW e sono riassunti nella **tabella 1**. Dai dati di WNA risulta la seguente "storia".

La prima centrale nucleare (reattore da 279 MW) in Cina è stata con progetto e costruzione cinese a Qinshan, 100 km a Sud Ovest di Shanghai e con vessel dal Giappone; i lavori sono iniziati nel 1985 e dal 1991 è stata in esercizio sperimentale con servizio commerciale dal 1994. Ha avuto una serie di lunghe fermate ed ora è in fase di sostituzione da parte di AREVA il sistema di strumentazione/controllo ed inoltre sono in fase di revisione il "pressure vessel head" e le barre di controllo al fine di estendere la vita della centrale oltre i 30 anni previsti inizialmente (da WNA).

La seconda centrale nucleare con 2 gruppi Framatome PWR da 944 MW ciascuno è quella acquisita con l'incorporazione di Hong Kong ed è a Daya Bay; ha iniziato la costruzione nel 1987 con EdF come Architect Engineer ed è entrata in servizio commerciale nel 1994.

La terza centrale (Qinshan 2 & 3) è costituita da 2 reattori cinesi da 610 MW ciascuno chiamati CNP 60, sviluppati sulla base dell'esperienza di Qinshan 1.

I reattori di Lingao sono praticamente il raddoppio dell'adiacente centrale di Daya Bay; sono stati realizzati sulla base della tecnologia Framatome, con notevole contributo cinese e sono chiamati ora CPR-1000.

I due reattori di Qinshan 4 & 5 (Candu 6 Pressurised Heavy Water Reactors da 665 MW ciascuno) sono stati realizzati dalla AECL (*Atomic Energy of Canada*) con un contratto chiavi in mano del 1997; il primo reattore è stato messo in servizio in meno di 5 anni.

I due reattori della centrale di Tianwan sono di tecnologia russa VVER AES-91 da 1000 MW ciascuno; hanno incorporato sistemi di sicurezza finlandesi e strumentazione e controllo Siemens-AREVA e sono stati realizzati nell'ambito della più grande collaborazione mai stabilita tra Cina e Russia.

I cinesi hanno quindi acquisito ed interiorizzato con le centrali in servizio le varie tecnologie disponibili di reattori PWR della seconda generazione e seconda generazione avanzata.

I reattori in costruzione sono ora 12 per oltre 12.000 MW; gli ultimi piani di sviluppo vengono continuamente aggiornati al rialzo.

Il piano nucleare prevedeva nel 2008 di avere 40.000 MW nel 2020 e 120.000 MW nel 2030; questi valori sono stati aumentati del 50% a 60.000 MW e 180.000 MW facendo della Cina tra meno di 15 anni la più potente nazione per nucleare installato (oggi gli Stati Uniti hanno 104 reattori per circa 100.000 MW installati).

La gran parte dei reattori ora in costruzione o già pianificati per oltre 50.000 MW sarà del tipo CPR-1000 o di quelli basati su tecnologia acquisita da Westinghouse con i 4 reattori AP 1000 ordinati con "trasferimento di tecnologia" (è il reattore che ora gode della massima considerazione localmente). Sono stati anche ordinati 2 reattori EPR di AREVA (quelli dell'accordo ENEL-EdF) e 2 reattori russi AES-91. Sono previsti anche 2 reattori da 100 MW tipo HTR (small High Temperature gas cooled reactor).

È interessante notare che i reattori in costruzione o già pianificati non saranno solo lungo le coste, come quelli già in servizio, ma anche all'interno del Paese in località vicine ai carichi previsti. In generale sono considerate centrali con 2 o 4 reattori per sito.

Gli oltre 90.000 MW ora in fase di considerazione e proposte sono in maggioranza del tipo AP 1000 con altri CPR 1000 e qualche AES-91. Anche in tali piani sono considerate piccole unità HTR da 210 MW. Occorre notare l'accordo tecnologico con Westinghouse di sviluppare localmente un aumento della potenza dell'AP 1000 dagli attuali 1150 MW a 1400 MW.

Nonostante tale piano che sembra ai nostri occhi faraonico, il nucleare cinese contribuirà nel 2030 per meno del 10% alla totale energia elettrica che sarà prodotta per circa il 70% da carbone e per circa il 20% da centrali idroelettriche. Negli ultimi 3 anni dal 2006 al 2008 la Cina ha messo in servizio circa 100.000 MW di nuove centrali all'anno e per l'80% a carbone; la totale potenza installata cinese ha superato ad inizi 2009 gli 800.000 MW. A causa della enorme produzione di elettricità dal carbone la Cina è dal 2007 il più grande emettitore di CO<sub>2</sub> con 6,1 miliardi di tonnellate, contro le 5,8 degli Stati Uniti e le 4 dell'Europa dei 27.

**Tabella 1** Reattori in servizio al 01/06/2009 (Fonte: WNA)

UNITS	PROVINCE	TYPE	NET CAPACITY (EACH)	COMMERCIAL OPERATION
Daya Bay-1 & 2	Guangdong	PWR	944 MWe	Feb-May 1994
Qinshan-1	Zhejiang	PWR	279 MWe	Apr. 94
Qinshan-2 & 3	Zhejiang	PWR	610 MWe	Apr. 2002, 2004
Lingao-1 & 2	Guangdong	PWR	935 MWe	Sept. 2002, 2003
Qinshan-4 & 5	Zhejiang	PHWR	665 MWe	Sept. 2002, 2003
Tianwan-1 & 2	Jiangsu	PWR (VVER)	1000 MWe	2007
<b>Total (11)</b>			<b>8587 MWe</b>	

Considerando i lunghi cicli di vita delle infrastrutture energetiche e gli sviluppi tecnologici, tutte le risorse energetiche e tutte le tecnologie debbono essere considerate; nessuna deve essere demonizzata o idolatrata. Ogni tecnologia dovrà trovare la propria nicchia in funzione dei suoi costi reali, includendo le esternalità.

Nucleare e rinnovabili non sono in contrapposizione: il nucleare (come gas e carbone) fornisce l'indispensabile energia di base programmabile mentre le rinnovabili sono "aleatorie" (danno energia quando c'è vento o sole) e necessitano quindi di adeguata "riserva" dalle altre fonti.

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

1. **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.
2. **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%. Il Ministro Scajola propone un 25%.
3. **Quando?** Non si può illudere il mercato e l'opinione pubblica che il nucleare risolve 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.
4. È proponibile un piano nucleare, senza palesare **vantaggi alla "domanda"** di elettricità (consumatori) rendendoli evidenti solo all'offerta che effettua gli investimenti? 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 deve essere definito e perseguito con un'attiva collaborazione tra istituzioni, investitori (offerta), consumatori (domanda), mondo accademico, industrie e popolazione.

In ogni caso bisogna eliminare ogni com-

promesso: se si vogliono realizzare delle centrali nucleari oggi, esse sono e possono essere solo quelle della terza generazione.

Parlare di quarta generazione (vari progetti allo studio con prototipi sperimentali disponibili forse tra oltre un decennio e con realizzazioni con taglie 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, Regno Unito, Francia, Finlandia, Russia, Giappone ecc.) ed in via di industrializzazione (Cina, Bulgaria, Romania, Corea ecc.). Occorre però inquadrare la terza generazione nel percorso parallelo di ricerca e sviluppo per la quarta generazione. Esempio eclatante è la Francia.

Le chiare priorità sono:

- ❑ la celere definizione di regole/leggi di dettaglio (gestite poi da Autorità/Agenzie) 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;
  - ❑ un efficace piano di comunicazione su energia ed ambiente dal quale emerga l'importanza del nucleare e che coinvolga istituzioni e popolazione (cosa, a chi, come comunicare e da "chi credibile" fare effettuare la comunicazione ecc.);
  - ❑ l'adeguamento degli indispensabili rafforzamenti della rete elettrica di trasmissione che presenta già ora forti colli di bottiglia per il dispacciamento di nuove centrali a ciclo combinato con 2 unità per sito da 400 MW e quindi ben più piccole delle unità nucleari.
- Ritengo in Italia si possa e si debba portare avanti un piano nucleare in un libero mercato e senza sussidi. Gli interventi dello stato debbono essere limitati a:
- ❑ garantire i siti e tempestive autorizzazioni;
  - ❑ coprire rischi da grandi incidenti per la quota eccedente un valore da definirsi in accordo con normative europee;
  - ❑ gestire "cimiteri finali" delle scorie, realizzati tuttavia con gli accantonamenti degli operatori, che non possono però assumersi liabilities secolari;
  - ❑ garantire rischi di cambio di legislazione;
  - ❑ gestire il controllo della sicurezza e della salute.

È essenziale rivedere/semplificare/integrare la normativa esistente con quanto già sperimentato in altri Paesi e definire nei minimi dettagli:

- caratteristiche ed autorizzazioni dei siti;
- certificazione del tipo di reattore;

- licenza alla costruzione e all'esercizio;
- controlli di sicurezza;
- procedure di decommissioning;
- controlli per il ciclo del combustibile incluso il "cimitero finale" delle scorie.

Si affianchino alle istituzioni delle task forces non numerose di esperti presi a prestito dai principali stakeholders (offerta, domanda, fornitori di tecnologie, istituzioni coinvolte nel nucleare e istituzioni locali) e che lavorino sodo con alcuni "legali" per arrivare celermente a un coacervo di regole chiare.

È importante definire il "livello e tipologia dei controlli" spettanti all'Autorità/Agenzia: "controllo di ogni disegno e di ogni vite" o controllo che l'Architect Engineer segua le procedure stabilite e quelle di garanzia di qualità? Ciò ha grande influenza su costi, tempi/ritardi di rea-

lizzazione e sicurezza delle centrali e sul dimensionamento delle risorse dell'Autorità/Agenzia. Un confronto tra Olkiluoto 3 in Finlandia e Flamanville in Francia su tipologia del contratto e influenza del regolatore sarebbe istruttivo.

Le centrali nucleari hanno circa l'80% di contenuto di ingegneria, opere civili e di componenti/sistemi termo elettromeccanici, i quali, previa adeguata qualifica a lavorare in garanzia di qualità, potrebbero essere prodotti in Italia con un elevamento tecnologico delle nostre imprese, rendendole anche potenziali fornitrici per il "rinascimento" nucleare in atto all'estero. **Un piano nucleare in Italia deve comportare quindi un trasferimento da una spesa all'estero per i combustibili a quella per contenuto industriale italiano con relativa occupazione e sviluppo del sistema industriale.**

## bibliografia

[1] Clerici A.: *L'opzione nucleare: un'opportunità o una necessità?* L'Energia Elettrica, Vol. 84, n. 4, 2007, p. 29-39.

[2] Clerici A.: *Nuclear Power: the world situation.* Energy Technologies from Italy 2008.

[3] Clerici A.: *Italy and nuclear power.* Energy Technologies from Italy 2008.

[4] World Energy Council: *The Role of Nuclear Power in Europe.* by the WG chaired by Clerici A., January 2007, [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)